



Universidad  
Complutense  
Madrid



Universidad  
Rey Juan Carlos



POLITÉCNICA

## **EVALUACIÓN DE LA REVEGETACIÓN Y COLONIZACIÓN NATURAL EN LA MINA DE CAOLÍN "EI MACHORRO" (ALTO TAJO) CON RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA GEOFLUV<sup>TM</sup>**

### **Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas**

Presentado por:

D<sup>a</sup> Sara Amaranta Campos Moreno

Tutor director:

Dr. José Manuel Nicolau Ibarra y Dra. Tiscar Espigares Pinilla

Tutor Académico:

Dr. José Francisco Martín Duque

Alcalá de Henares, a 30 de septiembre de 2016



## ÍNDICE

## Página

1. RESUMEN .....	2
1.1. ABSTRACT .....	3
2. INTRODUCCIÓN .....	4
2.1. MINERÍA Y SOCIEDAD. RELACIÓN DE NECESIDAD .....	4
2.2. LIMITACIONES DE LAS RESTAURACIONES MINERAS CONVENCIONALES .....	5
2.3. CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL DE LA MINERÍA A CIELO ABIERTO EN EL ALTO TAJO .....	5
2.4. LA RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA EN EL ALTO TAJO; GEOFLUV <sup>TM</sup> Y NATURAL REGRADE .....	6
2.4.1. Objetivo general del trabajo .....	9
2.4.2. Objetivos específicos .....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
3.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO .....	10
3.1.1. Localización .....	10
3.1.2. Clima .....	10
3.1.3. Geología, geomorfología y sustrato edáfico .....	11
3.1.4. Vegetación .....	12
3.2. RESTAURACIÓN DE LA CANTERA "EL MACHORRO" .....	13
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	15
4. ANÁLISIS DE DATOS .....	21
5. RESULTADOS .....	22
5.1. ANÁLISIS EDÁFICOS .....	22
5.2. ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN .....	23
5.2.1. Inventario de individuos de <i>Genista scorpius</i> y <i>Pinus nigra</i> .....	29
6. DISCUSIÓN .....	31
7. CONCLUSIONES .....	34
8. AGRADECIMIENTOS .....	35
9. BIBLIOGRAFÍA .....	36
10. ANEXOS .....	42

## 1. RESUMEN

La minería es una actividad esencial que consta de proyectos de recuperación ambiental. Aún así los movimientos sociales y los avances científicos ponen de manifiesto las limitaciones de la visión clásica de la mayoría de estos proyectos. Dentro de este contexto la mina El Machorro (Poveda de la Sierra, Guadalajara) es una de las explotaciones pionera en la aplicación del método GeoFluv<sup>TM</sup> para el diseño y ejecución de su restauración ambiental, apostando por una visión ecológica mediante una restauración geomorfológica que busca generar forma de relieve estables y naturalizadas en el paisaje, basadas en vaguadas y laderas adaptadas a la hidrología de la zona.

Este trabajo supone la primera evaluación de la revegetación y colonización natural en las diferentes formas de relieve generadas por el método GeoFluv<sup>TM</sup>. Para ello se aplicó un muestreo sectorizado realizando la toma de datos en dos campañas otoño (septiembre del 2015) y verano (Junio del 2016). Se analizaron variables del ecosistema, teniendo en cuenta factores abióticos y bióticos.

Los resultados de muestran que:

- La aparición de especies de flora no introducidas activamente en la revegetación realizada en primavera del 2015 demuestra que existe una colonización pasiva y gradual.
- La distancia a la fuente de propágulos, el ecosistema de referencia, es un factor que determina en gran medida la riqueza de especies vegetales, aumentando el número de especies en las zonas más cercanas. La presencia y dispersión de individuos *Genista scorpius* y *Pinus nigra* pone de manifiesto que no se trata de una recuperación bloqueada en las fases herbáceas puesto que están entrando especies arbustivas y arbóreas desde el ecosistema de referencia.
- Los relieves creados durante la restauración geomorfológica desarrollada mediante el método GeoFluv<sup>TM</sup> afectan a la colonización de la flora, siendo las vaguadas principales las áreas de menos cobertura y riqueza. Esto puede deberse al efecto erosivo del paso del agua por estas vaguadas.

## 1.1. ABSTRACT

Mining is an essential activity that consists of environmental remediation projects. Even though, social movements and scientific advances reveal the limitations of the classical view of most of these projects. Within this context, the Machorro mine (in Poveda de la Sierra, Guadalajara) is one of the pioneer mine in the application of the GeoFluv<sup>TM</sup> method for designing and implementing its environmental restoration, betting on an ecological vision through a geomorphological restoration whose aim is to generate stable form of relief and naturalized in the landscape, based on streambeds and thalwegs specialized in the hydrology of the area.

This work introduces the first evaluation of revegetation and natural colonization in different landforms generated by the GeoFluv<sup>TM</sup> method. For it, it was applied a sectorized performing sampling data collection during the fall campaign (2015) and the summer campaign (2016) whilst ecosystem variables were analyzed, taking into account abiotic and biotic factors.

The results show that:

- The appearance of species of flora not actively introduced in the revegetation held in spring 2015 shows that there is a passive and gradual colonization.
- The distance to the source of propagules, the reference ecosystem, is a factor that, largely, determines the wealth of vegetal species, increasing the number of species in the closest areas. The presence and dispersal of *Genista scorpius* and *Pinus nigra* individuals shows that there is not a herbaceous locked in phases due to they are entering shrub and tree species from the reference ecosystem recovery.
- The reliefs created during the geomorphological restoration developed by GeoFluv<sup>TM</sup> method affect to the colonization of the flora, being the main thalweg the areas of less coverage and wealth. This may be due to the erosive effect of the passage of water through these thalwegs.



## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. MINERÍA Y SOCIEDAD. RELACIÓN DE NECESIDAD

El ser humano mantiene una expansión demográfica por todo el globo (Cohen, 2003), aumentando en número y en el uso de los recursos naturales. Recursos que se dedican además de para la supervivencia, a la comodidad, ocio y desarrollo personal (Ewing *et al.* 2010a). Hasta principios del siglo pasado, las materias primas y la energía extraídas del entorno natural se contaban, en muchas ocasiones, como fuentes inagotables y/o con una capacidad de recuperación lo suficientemente alta como para considerarlas renovables, por lo que su uso se realizaba sin tener en cuenta las externalidades que pudieran surgir de dichos modelos de explotación. Las consecuencias de estos pensamientos clásicos se hacen presentes y los estudios científicos sólo pronostican más externalidades negativas, a las que el ser humano va a tener que hacer frente quiera o no. Entre otras destacarían: calentamiento global, pérdida de terrenos cultivables, declive de la biodiversidad, etc. Un conjunto de efectos que se denominan “Cambio Global” (Meehl *et al.* 2007).

Pese a todo esto la aplicación de tecnología sigue siendo la base de nuestro sistema económico, de manera que la demanda y consumo de recursos y productos sigue aumentando día a día (Ewing *et al.* 2010b). En este contexto, la minería es una actividad esencial, dado que una gran parte de los productos necesarios para nuestro funcionamiento diario proceden de ella. Sin embargo, esta actividad siempre se ha visto como una fuerza “destructora” altamente criticada por parte de la sociedad debido a los numerosos impactos ambientales que genera: profunda alteración geomorfológica del ecosistema en que se produce la explotación; contaminación de aguas (principalmente en la minería de metales); tratamiento/almacenamiento de los productos extraídos; eliminación de las comunidades vegetales y animales, entre otros. La presión social de las últimas décadas está poniendo de manifiesto la necesidad de adaptar esta actividad a las nuevas exigencias de sostenibilidad ambiental de nuestra sociedad. Uno de los elementos fundamentales para ello es desarrollar métodos de restauración efectivos, desde un enfoque holístico (Balaguer, 2016); alejándose de las restauraciones clásicas en las que la restitución de la cubierta vegetal, con cualquier medio, era uno de los objetivos principales, obviando la dinámica de los ecosistemas (Espigares *et al.*, 2011a).

## **2.2. LIMITACIONES DE LAS RESTAURACIONES MINERAS CONVENCIONALES**

En el párrafo anterior se hace referencia a la necesidad de desarrollar métodos de restauración efectivos. En efecto, se han identificado limitaciones importantes en las restauraciones mineras clásicas. La morfología de talud y bermas/cunetas ha demostrado no ser lo suficientemente eficiente en su evolución, fallando en su objetivo de generar ambientes naturalizados que faciliten el establecimiento de la vegetación y la recuperación de los procesos naturales previos a la perturbación. Este fallo es el resultado del avance de la erosión como consecuencia de la generación de regueros y cárcavas en los taludes por las elevadas pendientes y el efecto hidrológico (Nicolau, 2003). Otro de los principales problemas es la necesidad de un elevado mantenimiento al generar estructuras artificiales de integración paisajística limitada, especialmente en climas donde la precipitación es irregular y muy agresiva, donde falla y dificulta el establecimiento de la vegetación; obligando a diseñar un proceso de revegetación para reducir la erosión del sustrato de los taludes, dejándose en segundo plano otros elementos del ecosistema como la biodiversidad vegetal de la zona o la creación de microhábitats.

## **2.3. CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL DE LA MINERÍA A CIELO ABIERTO EN EL ALTO TAJO**

Un caso de la necesidad del desarrollo y la aplicación de nuevas técnicas de restauración en la minería a cielo abierto son las inmediaciones al Parque Natural del Alto Tajo. En esta zona se produce una coincidencia espacial de recursos naturales extraordinarios que ha generado la convivencia de dos sectores radicalmente diferentes entre sí; la minería y el ecoturismo. Esta situación ha generado distintos conflictos entre aquellas personas que ven su sustento unido a las empresas mineras y aquellos que defienden y dependen de los ecosistemas y paisajes excepcionales que se dan lugar en esta zona. Por todo lo anterior dicho, la existencia de las explotaciones mineras en sí mismo son importantes para el conjunto de la sociedad, pero desde las poblaciones locales, gestores y usuarios del parque se ha desarrollado una presión social que demanda una minimización de las externalidades generadas por las acciones mineras, cuya principal secuela ambiental para el Parque es de tipo hidrológico (Martín-Duque *et al*, 2016). (Imagen 1).



**Imagen 1.** Punto de confluencia entre dos ríos en la zona del Alto Tajo tras lluvias. Uno procedente de la zona sin minas y otro que transcurre por la zona de desagüe de la escorrentía de las minas.

En este marco, la empresa CAOBAR S.A., junto al grupo de investigación en Restauración Geomorfológica de la Universidad Complutense de Madrid, liderado por el profesor José Francisco Martín Duque, ha optado por la innovación e investigación de técnicas de restauración desde una perspectiva más ecológica centradas en la remodelación geomorfológica mediante estructuras naturalizadas y estables, que abogan por la reutilización de materiales y una mayor eficiencia en el uso y consumo de los espacios naturales y sus recursos: la Restauración Ecológica. Esta aproximación busca identificar el factor ambiental clave que bloquea el desarrollo del ecosistema que se trata de reconstruir. (Balaguer L. *et al*, 2014). En el caso de la minería a cielo abierto, el factor que más frecuentemente limita el desarrollo del suelo y la vegetación es la erosión hídrica superficial (Martín-Duque *et al*, 2010).

#### **2.4. LA RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA EN EL ALTO TAJO; GEOFLUV™ Y NATURAL REGRADE**

CAOBAR S.A. comenzó a integrar este nuevo enfoque en una de sus dos explotaciones en la zona, la mina conocida como El Machorro. Como ya se ha remarcado con anterioridad, estudios de la zona habían demostrado la importancia de la estabilidad del

sustrato y los efectos que la escorrentía de las precipitaciones podía generar; tanto en la recuperación del sistema como en la conservación de los ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Tajo (Martín-Duque *et al.*, 2009a); dato corroborado por la bibliografía de estudios científicos en otros escenarios mineros en los que se identifica la inestabilidad geomorfológica como factor clave (Nicolau *et al.* 2012a). Para conseguir la estabilidad del sustrato en vez de la clásica estructura talud-berma-talud se utilizó el método GeoFluv<sup>TM</sup> y *software* Natural Regrade, que utiliza criterios geomorfológicos para generar un paisaje de valles y colinas con su propia red hidrológica dimensionada al escenario de restauración, disminuyendo de esta forma el efecto del potencial de escorrentía y el de la erosión. (Martín-Duque & Bugosh 2012.). (Imagen 2).



**Imagen 2.** Vista de la mina El Machorro restaurada geomorfológicamente con GeoFluv<sup>TM</sup> y Natural Regrade, creando un paisaje de colinas y valles.

El método GeoFluv<sup>TM</sup> patentado por Carlson, surge en Estados Unidos (Carlson Software & Bugosh 2005). Se está comenzando a implementar en México y Australia, entre otros lugares. Cabe destacar España, que cuenta con 6 ejemplos empíricos de restauración geomorfológica de canteras desde un punto ecológico con este método (Martín-Duque & Bugosh, 2014); poniéndose a la cabeza de Europa en el uso de esta técnica. (Figura 1).





**Figura 1.** Ubicación de los ocho casos de restauración geomorfológica realizados en España atendiendo a valores ecológicos. Seis de ellos se han llevado a cabo mediante la técnica de GeoFluv<sup>TM</sup>: 3, Quebrado de La Serrana; 4, Somolinos; 5, Arlanza; 6, El Machorro; 7, María José y 8, Campredó método (Martín-Duque & Bugosh, 2014).

El seguimiento de los ecosistemas generados mediante el método GeoFluv<sup>TM</sup> se ha centrado principalmente en los procesos hidrológicos y erosivos. El trabajo que se presenta en este documento se centra en el seguimiento de la evolución de la vegetación en la mina de caolín a cielo abierto, “El Machorro”, en el Alto Tajo, restaurada por el método GeoFluv<sup>TM</sup> y el software Natural Regrade; complementando de esta manera los trabajos de restauración realizados y cubriendo de esta forma la llamada de atención de los científicos sobre la necesidad de hacer y cumplir con los protocolos de seguimiento de los proyectos de restauración ecológica realizados (Serra & Pedra, 2012); sirviendo de esto modo a un doble interés. Por un lado, el control y seguimiento de las zonas intervenidas permiten la gestión adaptativa de los procesos de restauraciones para asegurar su éxito. Por otro lado, varios autores hacen un llamamiento sobre el enorme interés que el análisis y agrupamiento de los conocimientos sobre la evolución de las distintas técnicas de restauración pueden aportar al desarrollo de la propia ciencia y técnica (García & Cardona, 2012).

#### **2.4.1. Objetivo general del trabajo**

- Caracterización de la comunidad vegetal de la zona restaurada con GeoFluv<sup>TM</sup> en la explotación El Machorro.

#### **2.4.2. Objetivos específicos**

- Seguimiento de la comunidad vegetal de la siembra realizada en la mina El Machorro condicionado por los filtros y ambientes heterogéneos generados con el software GeoFluv<sup>TM</sup> y Natural Regrade.
- Seguimiento de la comunidad vegetal originaria de la dispersión pasiva en la restauración realizada en la mina El Machorro condicionado por los filtros y ambientes heterogéneos generados con el software GeoFluv<sup>TM</sup> y Natural Regrade.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Localización

La zona de trabajo se encuentra en el municipio de Poveda de la Sierra (40° 38' 34" Norte, 2° 1' 44" Oeste); dentro del área del Alto Tajo, en la provincia de Guadalajara, Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Este municipio se encuentra a 1.198 m de altura; cuenta con una superficie de 51,7 km<sup>2</sup> y una población, en 2009, de 154 habitantes (Poveda de la Sierra. 2016).

La zona de estudio consiste en 4,6 hectáreas, restauradas en 2012 y 2014, de una explotación minera de caolín a cielo abierto, en ladera, o 'de contorno', en la mina "El Machorro", explotada bajo la dirección de la empresa CAOBAR S.A desde 1998. (Imagen 3).

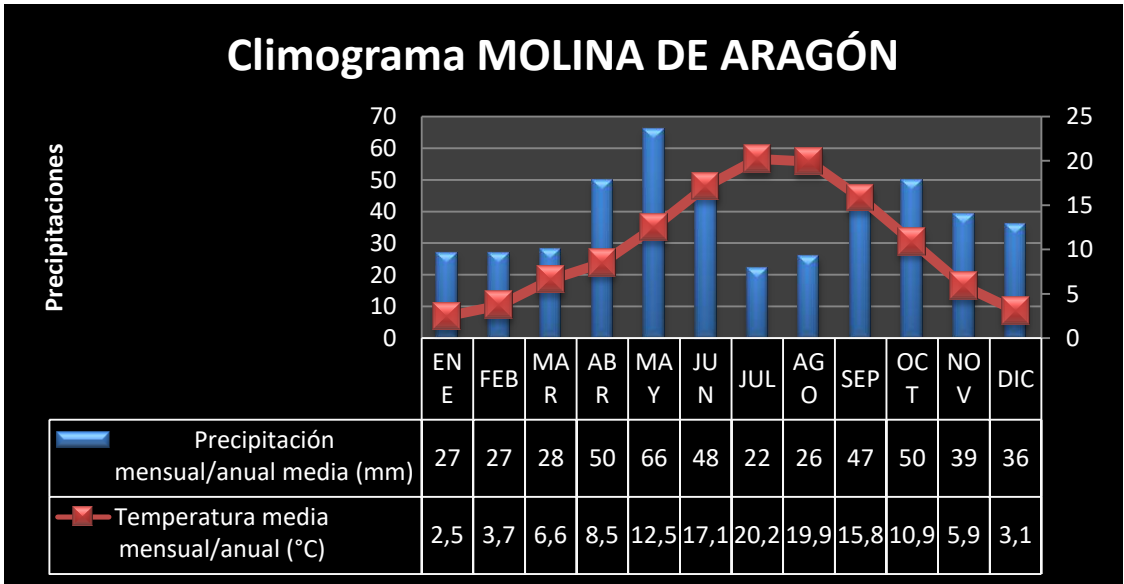


**Imagen 3.** Vista general del área de estudio. Mina "El Machorro".

##### 3.1.2. Clima

El clima del área de estudio se cataloga como Mediterráneo Templado Fresco (De León, 1991) (Figura 2). Este clima se caracteriza por las bajas temperaturas que se registran durante el invierno, con un número medio anual de 121,7 días de helada.

La amplitud térmica de unas estaciones a otras es muy amplia, con una temperatura media de 2,5 °C en el mes más frío y de 20,2 °C en el más cálido; enero y julio respectivamente, siendo de las temperaturas medias anuales más bajas registradas en toda la península. La precipitación media anual es de 468 mm, concentrada en primavera y otoño (Meteorología, 2016) <sup>1</sup>.



**Figura 2.** Climograma de Molina de Aragón 1981-2010 (AEMET).

### 3.1.3. Geología, geomorfología y sustrato edáfico

Situado en la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, el Parque Natural del Alto Tajo cuenta con una diversidad geológica muy alta, como una de sus principales señas de identidad (Carcavilla *et al*, 2008). Su sector suroriental, en general, y el área de Poveda, en particular, están dominados por rocas de edad Cretácica. Por debajo de esta formación aparecen conglomerados, areniscas, arcillas y calizas de las Facies Weald, y por encima toda una serie de rocas carbonáticas (Martín Duque *et al*, 2009b).

El paisaje está dominado por mesetas, cuestras, *hog-backs* y crestas. A partir de estas el río Tajo y sus afluentes han generado todo un sistema de gargantas, hoces y cañones, con laderas de pendiente elevada. En las distintas parameras formadas, los suelos son

<sup>1</sup> Para la recolección de datos necesarios para el análisis del clima se recurrió a los datos desde 1981-2010 de la estación del AEMET de Molina de Aragón, al ser la más cercana a la zona objetivo.



luvisoles crómicos, cambisoles cálcicos, leptosoles mólicos y leptosoles rendzicos. (Martín Duque *et al.*, 2009c).

En este escenario, la explotación minera genera una alteración remarcable en cuanto al re-direccionamiento de la fuerza de erosión que genera las precipitaciones y a la naturaleza del sustrato. El suelo, propiamente dicho, se trata de un material rico en materia orgánica y pH neutro tirando a básico, como resultado de la acción de la vegetación de naturaleza de acículas ácidas que se desarrolla sobre las capas más básicas del terreno, (bosques de *Pinus*). Al tratarse de una explotación minera de caolín (material de naturaleza básica) el método de restauración geomorfológica que parta de los áridos obtenidos durante la explotación como material de remodelado genera un sustrato de recolonización vegetal con valores de pH básicos.

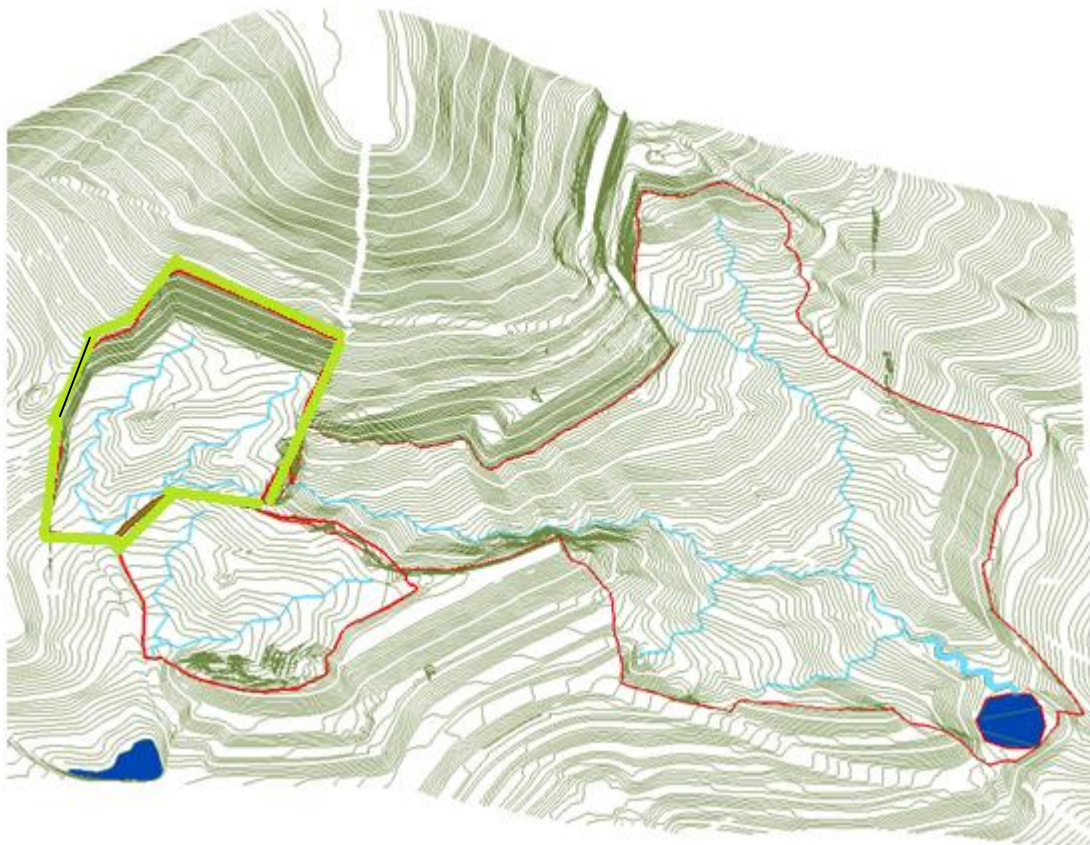
#### 3.1.4. Vegetación

El pinar sub-mediterráneo de *Pinus nigra* (Pino salgareño, subsp. *Salzamannii*) endémico (clasificado por la Directiva Hábitats como “prioritario”, con código 9530 según el Anexo 1) es la vegetación original de la zona de estudio y fuente de propágulos más cercana (Regato & Del Río, 2009a).

Se trata de pinares de media montaña (900-1.500 m de altitud), relativamente espesos y caracterizados por la flora acompañante submediterránea típica como: *Juniperus communis*, *Acer monspessulanum*, *Amelanchier ovalis*, *Sorbus aria*, *Buxus sempervirens*, *Genista scorpius*, *Helleborus foetidus*, *Geum sylvaticum*, *Hepática nobilis*, *Thalictrum tuberosum*, etc. Debido a la climatología de la zona, se favorece competitivamente a los bosques de pino salgareño frente a quejigares, encinares y robledales (Regato & Del Río, 2009b). El propio PORN del Parque Natural del Alto Tajo considera estas masas mixtas entre las más interesantes de este espacio protegido; por su diversidad, originalidad y madurez.

### 3.2. RESTAURACIÓN DE LA CANTERA "EL MACHORRO"

La empresa responsable de la mina “El Machorro” (CAOBAR S.A.) en la actualización del Plan de Restauración del Espacio Natural (PREN) de la mina introdujo, mediante el método GeoFluv<sup>TM</sup> y el software Natural Regrade, principios geomorfológicos e hidrológicos con la ayuda del grupo de investigación en Restauración Geomorfológica de la UCM. De esta manera, en el 2012 y 2014, comenzaron las actuaciones de restauración en una parte de la mina generando relieves de laderas y vaguadas estables en términos de equilibrio dinámico; ya que se generan, con apoyo informático, teniendo en cuenta las precipitaciones de la zona y su capacidad de erosión sobre el material. (Figura 3).



**Figura 3.** Vista 3D de las curvas de nivel del remodelado topográfico correspondiente al Plano 1 (conjunto de la mina “El Machorro” (Lázaro C. *et al.*, 2011)). La zona de estudio aparece remarcado en verde

Tras finalizar las actuaciones sobre el relieve en el 2012 se recubrió el sustrato base de estériles con tierra vegetal, que a su vez se extendió una enmienda orgánica. Sobre los nuevos relieves generados en 2014 no sé conoce la implantación de enmiendas orgánicas o han sido erosionadas. En la primavera de 2015 se realizó una revegetación de especies herbáceas y arbustivas, mediante la técnica de siembra a voleo, con la mezcla de semillas: “Semillas para revegetación - Zulueta (N<sup>a</sup> A9272672; M1502)” (Zulueta, 2016). (Tabla 1).

Posteriormente a este trabajo se están llevando a cabo plantaciones de especies arbustivas y arbóreas, que no han podido ser evaluadas.

Familia	Especie	%
Gramíneas	<i>Lolium westerwoldicum</i>	18,75
Fabaceae	<i>Onobrychis viciifolia</i>	11,25
Gramíneas	<i>Agropyron cristatum</i>	7,5
Gramíneas	<i>Agropyron desertorum</i>	7,5
Gramíneas	<i>Farundinacea "Fawn" (Festuca arundinacea)</i>	7,5
Fabaceae	<i>Melilotus officinalis</i>	7,5
Gramíneas	<i>Piptatherum milliaceum</i>	6,25
Fabaceae	<i>Retama sphaerocarpa L</i>	6,25
Lamiaceae	<i>Lavandula latifolia</i>	3,75
Lamiaceae	<i>Myosotis arvensis</i>	3,75
Fabaceae	<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	2,5
Fabaceae	<i>Colutea arborescens</i>	1,25
Fabaceae	<i>Genista scorpius</i>	1,25

**Tabla 1.** Composición de la mezcla de semillas N<sup>a</sup> A9272672; M1502.

### 3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el área de estudio se realizaron muestreos de las distintas variables del ecosistema, analizando factores abióticos y bióticos (condiciones físico-químicas del suelo, y cobertura y diversidad de especies vegetales).

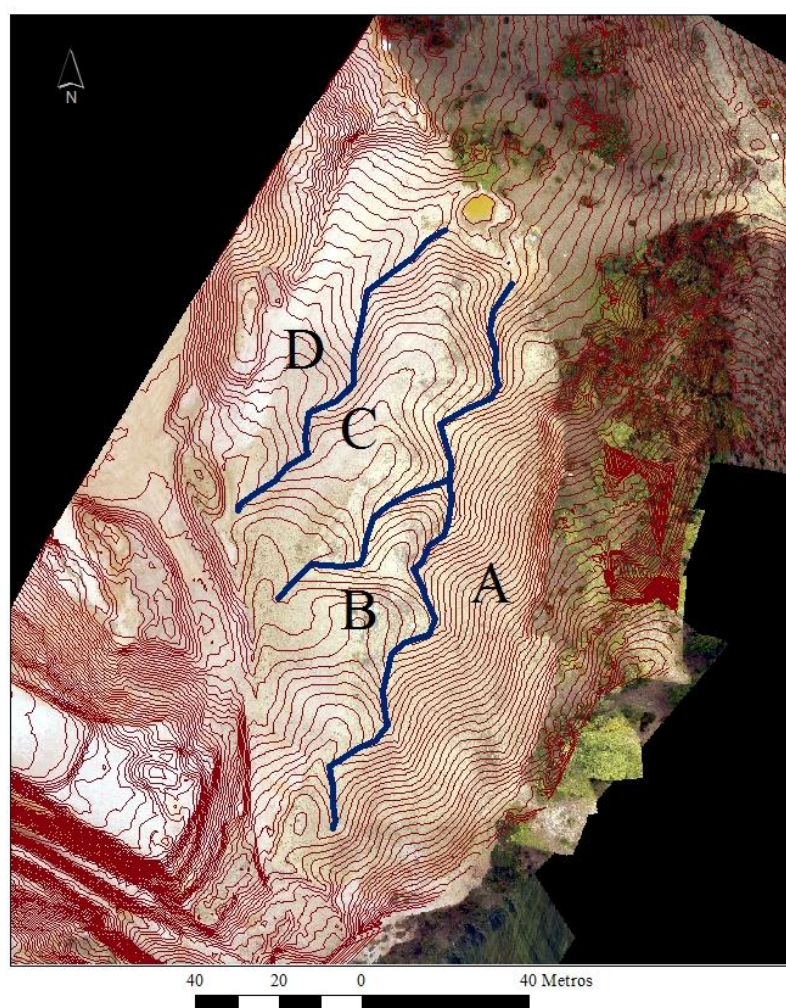
Se aplicó un muestreo sectorizado realizando la toma de datos en dos campañas: otoñal (los días 12-13,19-20 y 26-27 de septiembre de 2015); y veraniega (los días 17-18,26-27 de Junio de 2016).

En el área de estudio se hizo una primera sectorización en cuatro zonas delimitadas por las Vaguadas Principales (VP) generadas durante la restauración. El tipo de sustrato y la fecha de construcción (restauración geomorfológica) de las mismas se indican en la Tabla 2. (Figura 4).

Unidad Ambiental (Zonas)	Forma de relieve	Tipo sustrato	Fecha de la restauración geomorfológica
<b>A</b>	Ladera orientada al W	Tierra Vegetal	2012
<b>B</b>	Divisoria-Ladera orientada al E-NE	Tierra Vegetal + enmienda orgánica	2012
<b>C</b>	Divisoria-Ladera orientada al E-NE	Tierra Vegetal + enmienda orgánica	2012
<b>D</b>	Divisoria-Ladera orientada al E-NE	Estéril limo-arenoso	2014

**Tabla 2:** Zonas en que se ha dividido el área de estudio de la restauración de El Machorro en función de las Vaguadas Principales. Se indican el tipo de sustrato utilizado y la fecha de su restauración.





**Figura 4.** Imagen del área de estudio con las curvas de nivel señalando las cuatro zonas delimitadas por las vaguadas principales que las recorren.

Esta sectorización se utilizó para el muestreo de las variables edáficas tanto de la mina restaurada como del ecosistema de referencia, un pinar de *Pinus nigra* localizado al oeste de la zona A; que podría funcionar como fuente de propágulos más cercana. Para ello se tomaron tres muestras compuestas de los primeros 10 cm del suelo, de cada una las unidades: zona A, zona B+C<sup>2</sup>, zona D y ecosistema de referencia (REF). Las muestras se dejaron secar durante 24 horas a temperatura ambiente. Los análisis se realizaron en colaboración con el laboratorio de suelos de la Facultad de Geología de la UCM.

<sup>2</sup> La zona C se dividió en dos partes teniendo en cuenta la distinta naturaleza de sus laderas. Como la Ladera E de la zona C corresponde a la restauración y tratamientos realizados en el 2012 que se tomaron de esta zona muestras y se unieron con las de la zona B.

Allí se mezclaron las tres muestras compuestas de cada unidad en una sola generando un *pool*, lo que ha impedido realizar análisis estadísticos para estas variables al no disponer de réplicas.

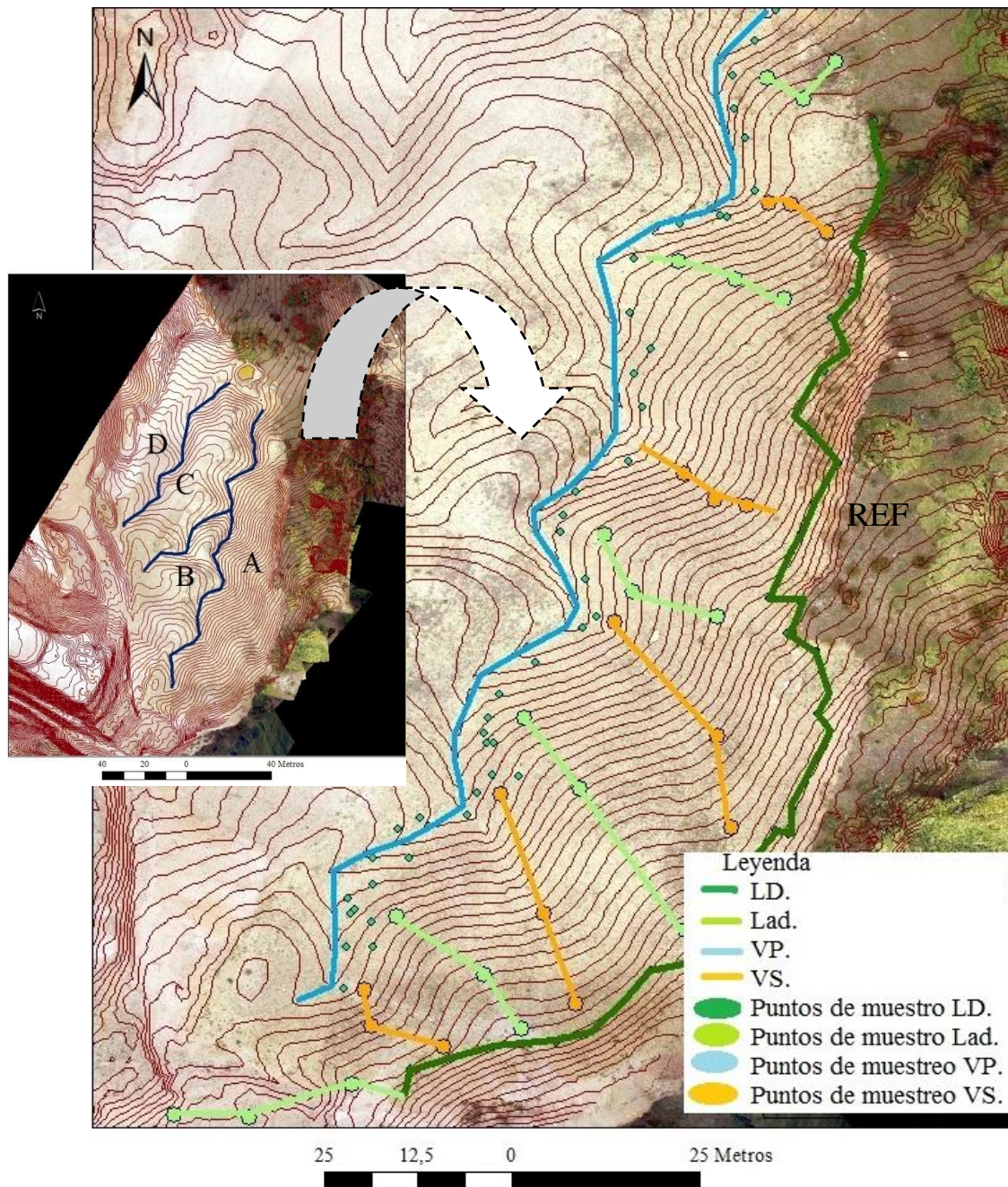
Las variables medidas fueron las siguientes: las texturas *por el método de La Pipeta de Robinson*, siguiendo el método *Standard SSL PSDA method* (Soil Survey Staff. 2011); el pH (Centro de Espectrometría Atómica (CEA), 2014a); la conductividad (Centro de Espectrometría Atómica (CEA), 2014b); el nitrógeno mediante la técnica de Digestión de Nitrógeno de Kjeldahl (Centro de Espectrometría Atómica (CEA), 2011a); el TOC (carbono orgánico y carbono total (Centro de Espectrometría Atómica (CEA), 2011b) y el fósforo total, determinado mediante la Inducción de Plasma Acoplada (ICP), funcionando como una fuente de ionización que junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) detecta la presencia o ausencia de la longitud de onda de las sustancias programadas para buscar (Centro de Espectrometría Atómica (CEA), 2011c).

Para el muestreo de las variables de vegetación, dentro de cada una de las zonas (A, B, C y D) se hizo una segunda sectorización atendiendo a criterios de orientación y forma de relieve, generando los siguiente sectores: Divisorias de cuenca (LD); Vaguadas Secundarias (VS); Vaguadas Principales (VP) y Laderas (Lad). (Figura 5). En cada una de estas unidades se realizó un muestreo regular en transectos, mediante *quadrats* de 50 cm de lado, de las siguientes variables: Cobertura vegetal total (% de suelo ocupado por la vegetación); Cobertura de cada especie vegetal (%), Riqueza vegetal y Distancia a la fuente de propágulos (ecosistema de referencia). La disposición de las muestras se hizo de la siguiente manera:

- En las Vaguadas Principales las observaciones se distribuyeron cada 4 m, siguiendo su recorrido.
- En las Divisorias se distribuyeron regularmente cada 5 m.
- En las Vaguadas Secundarias se dispusieron tres observaciones paralelas a la pendiente, dos en los extremos y un punto en el medio de su longitud; dejando siempre 2 m de distancia de margen entre la Divisoria y la observación en la posición superior.



- En cada Ladera se trazó un transecto centrado sobre el cual se dispusieron tres observaciones paralelas a la pendiente, dos en los extremos y un punto en el medio de su longitud; dejando siempre 2 m de distancia de margen entre la Divisoria y la observación en la posición superior.



**Figura 5.** Esquema para la Zona A del método de muestro seguido para las variables de vegetación.

El número total de observaciones (*quadrats*) fue de 354 por campaña (Tabla 3), las cuales se geo-referenciaron mediante un GPS Garmin Oregon 600; +/- 2 m.

Zona	Sector	Nº Observaciones	Total
<b>A</b>	Vaguada Principal	45	117
	Divisorias	39	
	Laderas	18	
	Vaguadas Secundarias	15	
<b>B</b>	Vaguada Principal	52	98
	Divisorias	22	
	Laderas	12	
	Vaguadas Secundarias	12	
<b>C</b>	Vaguada Principal	31	92
	Divisorias	22	
	Laderas	18	
	Vaguadas Secundarias	21	
<b>D</b>	Vaguada Principal	20	47
	Divisorias	15	
	Laderas	6	
	Vaguadas Secundarias	6	

**Tabla 3.** Número de observaciones totales en cada uno de los sectores.



Para valorar el proceso de revegetación pasiva en la zona de estudio se ha registrado información sobre dos especies de particular interés en el ensamblaje de la comunidad, a saber: *Pinus nigra* y *Genista scorpius*. Para ello se ha realizado el inventario de todos los individuos de esas especies presentes en la zona de estudio. En el caso de *Genista scorpius*, especie de gran interés por su interacción facilitadora con otras especies (Espigares *et al*, 2013), se introdujeron semillas en la revegetación de 2015 por lo que, a fin de registrar exclusivamente los individuos procedentes de la colonización espontánea, sólo se contabilizaron los mayores de un año.

#### 4. ANÁLISIS DE DATOS

Se ha explorado el efecto de las zonas (A, B, C y D), de los sectores geomorfológicos (VP, Lad, Vs y LD) y de la distancia a la fuente de propágulos (ecosistema de referencia) sobre la cobertura y la riqueza de especies vegetales en cada una de las campañas de muestreo. Al no seguir ninguna de las variables una distribución normal, se utilizaron tests estadísticos no paramétricos: de Kruskal-Wallis (Siegel & Castellan, 1988) para explorar los efectos de las zonas y sectores, y la correlación de Spearman (Abraira *et al*, 1996) para testar la relación entre la cobertura y riqueza vegetal con la distancia a la fuente de propágulos.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico SPSS17 (IBM, 2016).

Con los datos de los individuos de *Pinus nigra* y *Genista scorpius* dispersados de forma pasiva se han elaborado representaciones gráficas sobre las ortofotos del área de estudio. Finalmente, se han comparado las especies introducidas en la revegetación por voleo realizada en la primavera del 2015 con la flora encontrada en las campañas. Por la dificultad de la identificación de algunas familias debido a que aún no habían florecido algunas especies en el momento del muestro, parte de la identificaciones se han agrupado por familias. Por ejemplo: gramíneas.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. ANÁLISIS EDÁFICOS

Los análisis de la textura de los suelos indican, según la clasificación textural (USDA), que la zona A se considera como un suelo Franco; las zonas B, C y D, Franco Arcillo Arenoso y el ecosistema de referencia (REF) se trata de un suelo Franco Arenoso. (Anexo 1).

En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos para los parámetros químicos, que se desgranar en el Anexo 2.

<b>MUESTRA</b>	<b>REF</b>	<b>A</b>	<b>B + C</b>	<b>D</b>
<b>PARÁMETRO</b>				
TC (%)	3,4 ± 0,3	5,7 ± 0,6	3,1 ± 0,3	2,5 ± 0,3
TOC (%)	<3,4	2,2 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1
IC (%)	<0,3	3,5 ± 0,4	2,2 ± 0,2	1,8 ± 0,2
Nitrógeno Kjeldahl (%)	0.42 ± 0.04	0.22 ± 0.02	0.080 ± 0.008	0.060 ± 0.006
P (%)	0.026 ± 0.002	0.053 ± 0.002	0.031 ± 0.002	0.025 ± 0.002
pH (unidades de pH)	6,66 ± 0,04	8,20 ± 0,04	8,51 ± 0,04	8,45 ± 0,04
Conductividad (µS/cm)	53 ± 4	183 ± 14	103 ± 8	100 ± 7

**Tabla 4.** Resultados analíticos de las variables edáficas en las cuatro zonas del área de estudio.

El **carbono orgánico** y el **nitrógeno** muestran un patrón similar: los valores más elevados corresponden al suelo del ecosistema de referencia (3,4% y 0,42%, respectivamente). La Zona A con sustrato de tierra vegetal presenta contenidos algo menores (2,2% y 0,22%, respectivamente). Y muy inferiores las zonas B, C y D con sustrato de estéril (0,09% y 0,08%). En el caso del **carbono inorgánico** es el REF el que consta de un porcentaje muy bajo (<0,3 %) en comparación con las zonas restauradas donde la zona A consta con el valor más alto (3,5 %) y la zona D vuelve a ser el de menor valor (1,8 %).

El contenido en **fósforo** no presenta grandes diferencias entre los sustratos, oscilando entre en 0,025% y 0,053%.

El **pH** también presenta variaciones notables entre los sustratos. Se sitúa en torno a 6,6 (ligeramente ácido) en el ecosistema de referencia y entre 8,2-8,4 (básico) en el resto de las zonas.

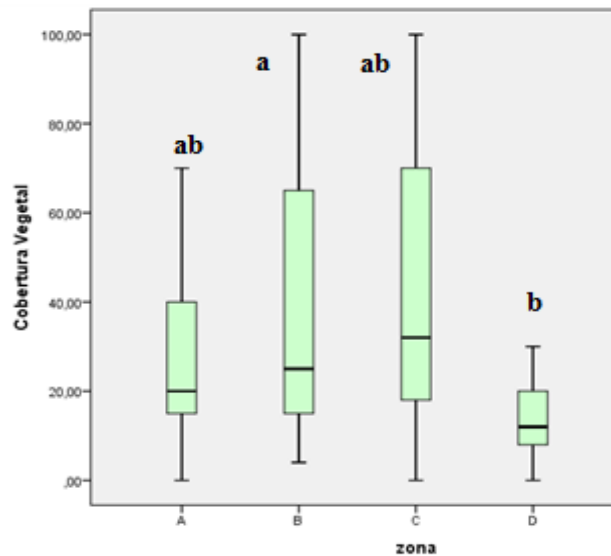
Finalmente, también la **conductividad** muestra contrastes. La zona A presenta los valores más elevados ( $183\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). En B, C y D se sitúa en torno a los  $100\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  y en el suelo del ecosistema de referencia presenta los valores menores ( $53\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

## 5.2. ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

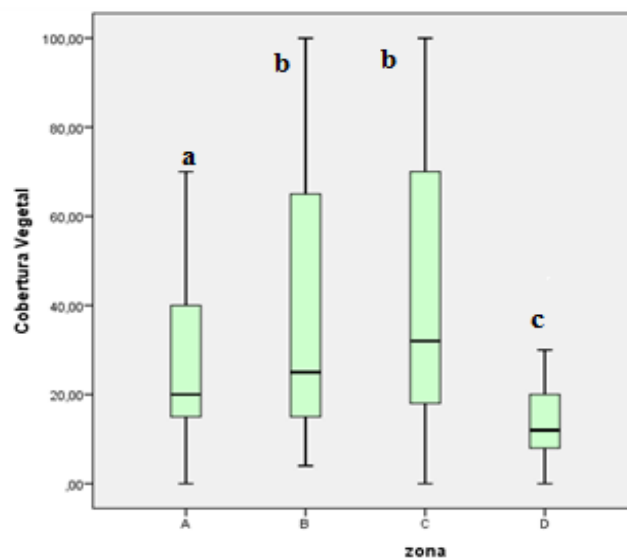
El número de especies identificadas en total ha sido de 27 en la campaña de otoño y de 33 en la de verano. La lista de especies se indica en el Anexo 3.

La cobertura media de la vegetación en la zona restaurada ha sido del 19% (campaña de otoño) y del 29% (campaña de verano). En el Anexo 4 se aportan dos representaciones cartografiadas de la cobertura en los distintos *quadrats* en cada campaña de muestreo (Mapa 1 y Mapa 2).

En relación a las diferencias en cobertura vegetal entre las diferentes Zonas (A, B, C y D), el test de Kruskal-Wallis refleja la existencia de diferencias significativas entre ellas en las dos campañas de muestreo ( $H=14,015$ :  $p=0,007_{\text{otoño}}$ ,  $H=56,028$ :  $p=0,000_{\text{verano}}$ ), (Figuras 6 y 7). La zona D –divisoria/ladera N-NE con sustrato de estéril, que se encuentra a una mayor distancia de la fuente de propágulos- es la que presenta una cobertura menor.



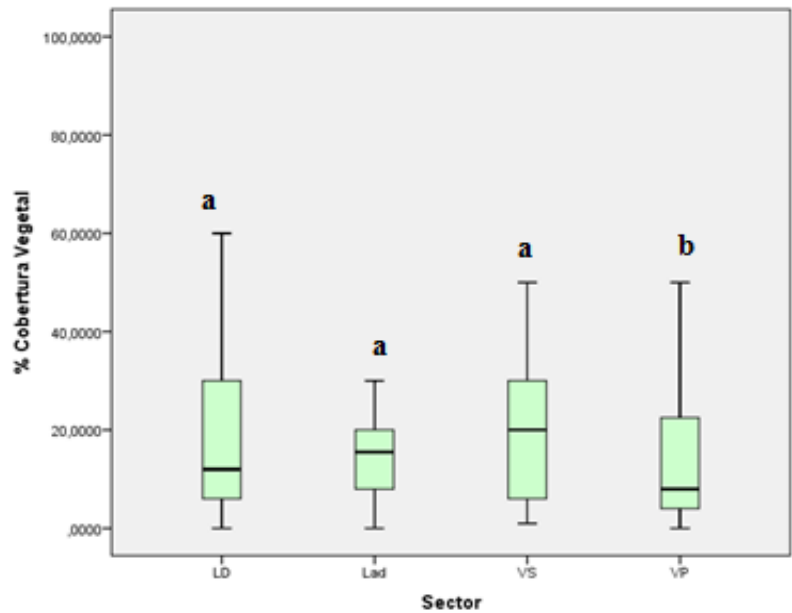
**Figura 6.** Media y desviación de la Cobertura Vegetal en las Zonas en septiembre de 2015. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre zonas (*post hoc* tests,  $p < 0.01$ ).



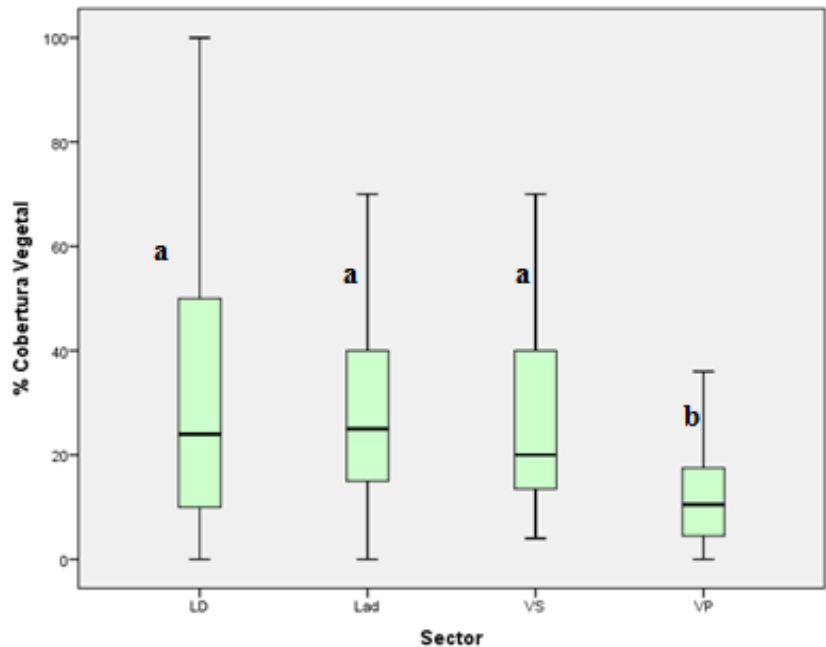
**Figura 7.** Media y desviación de la Cobertura Vegetal en las diferentes Zonas en Junio de 2016. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre zonas (*post hoc* tests,  $p < 0.01$ ).

Los diferentes sectores geomorfológicos afectan a la cobertura de especies vegetales, habiéndose encontrado diferencias significativas en ambas estaciones (Kruskal-Wallis test,  $H = 9.84$ ;  $\rho = 0.020$  otoño,  $H = 32.60$ ;  $\rho = 0.00$  verano), (Figuras 8 y 9). De esta manera,

se concluye que las diferencias en cobertura vegetal entre los sectores se pueden atribuir a la Vaguadas Principales, que presentan un cubrimiento vegetal muy bajo (<10%).

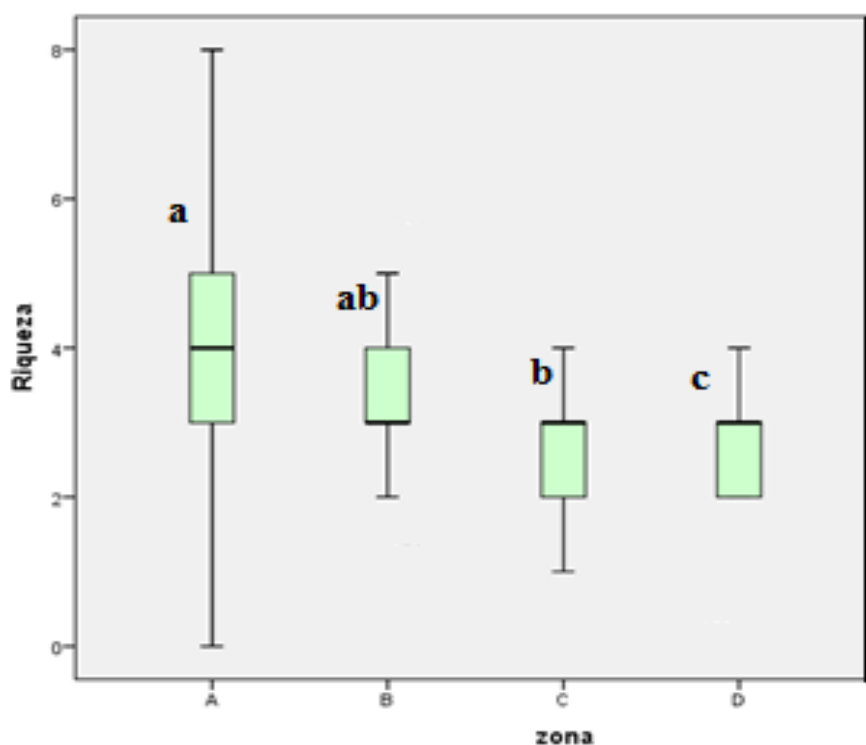


**Figura 8.** Media y desviación de la Cobertura Vegetal en los Sectores en septiembre de 2015. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre zonas (*post hoc* tests,  $p<0.01$ ).



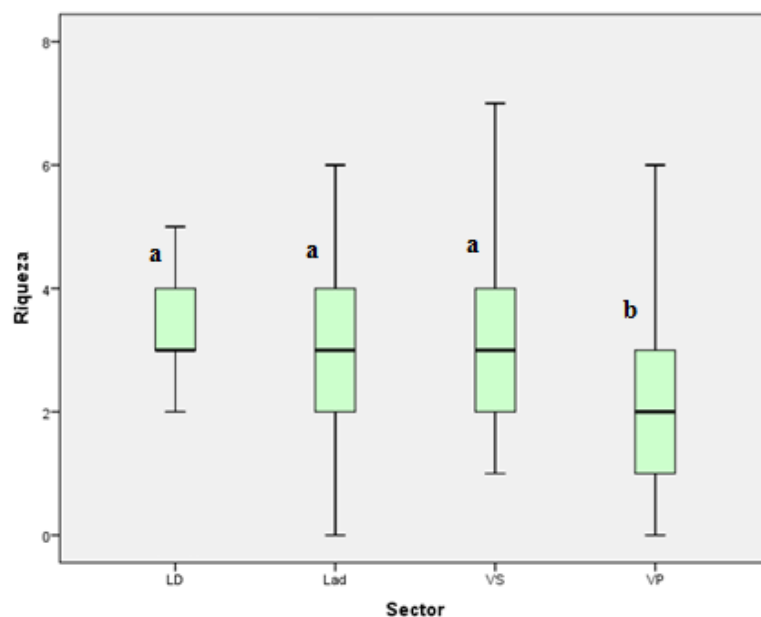
**Figura 9.** Media y desviación de la Cobertura Vegetal en los Sectores en Junio de 2016. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre zonas (*post hoc* tests,  $p<0.01$ ).

En cuanto a la riqueza de especies vegetales, el test de Kruskal-Wallis indica diferencias significativas entre las Zonas (A, B, C y D), para la campaña de otoño ( $H= 26,28$ :  $p =0,00$ ). (Figura 10), aunque no en verano ( $H= 5,20$ :  $p =0,16$ ). La zona D – divisoria/ladera N-NE con sustrato de estéril, a mayor distancia de la fuente de propágulos- es la que presenta una riqueza menor.

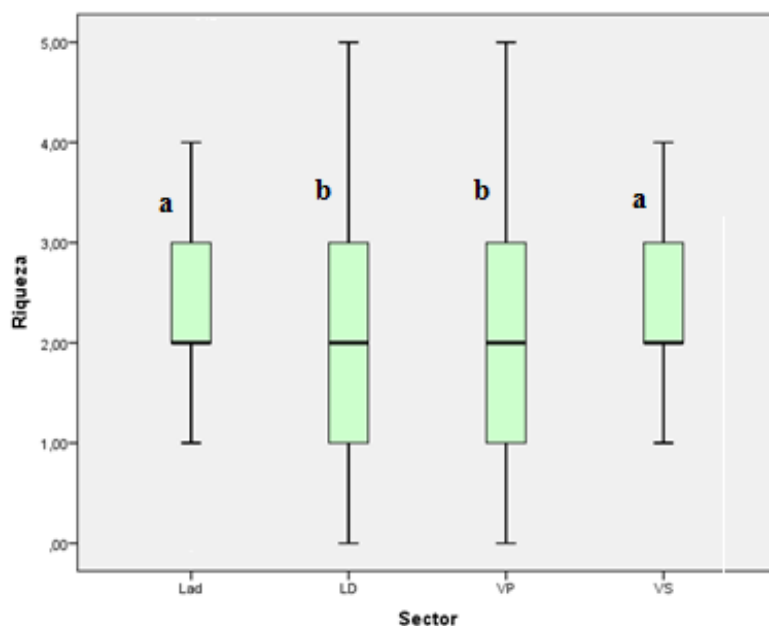


**Figura 10.** Media y desviación de la riqueza de especies vegetales en las Zonas en el muestreo de otoño de 2015. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre zonas (*post hoc* tests,  $p<0.01$ ).

Los diferentes sectores geomorfológicos también afectan a la riqueza de especies vegetales en ambos momentos de muestreo (Kruskal-Wallis: ( $H= 42,36$ :  $p = 0,00$  otoño,  $H= 16,19$ :  $p=0,001$  verano). (Figuras 11 y 12). De esta manera, se concluye que las diferencias en riqueza de especies en otoño de 2015 entre los sectores se pueden atribuir a la Vaguadas Principales, que presentan los valores más bajos de riqueza, en torno a una media de 2 especies.



**Figura 11.** Media y desviación de la Riqueza en los Sectores en septiembre de 2015. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre zonas (*post hoc* tests,  $p < 0.01$ ).



**Figura 12.** Media y desviación de la Riqueza en los Sectores en junio de 2016. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre zonas (*post hoc* tests,  $p < 0.02$ ).

Se ha encontrado una correlación significativa y negativa entre la distancia a la fuente propágulos y la riqueza de especies (análisis de Spearman,  $\rho = 0,000$ ;  $r_s = -0,224$ ), de manera que la diversidad de especies vegetales disminuye con la distancia.



Sin embargo, la cobertura vegetal es independiente de la distancia al ecosistema de referencia. Este resultado se obtuvo igual para las campañas de otoño y de verano.

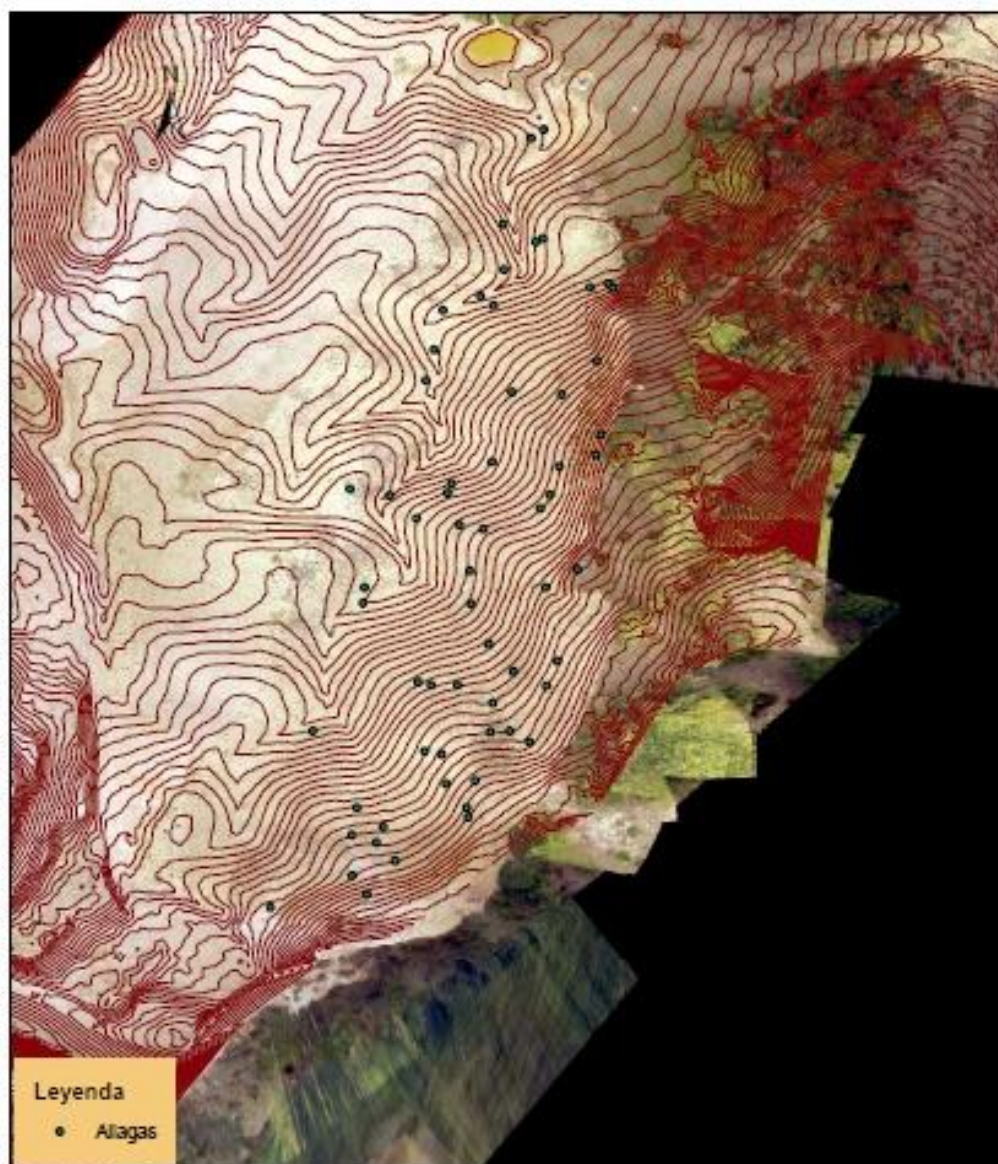
La comparación entre las especies introducidas en la revegetación por voleo realizada en la primavera del 2015 (ocho especies, más el grupo de las gramíneas) con la flora encontrada en las campañas de muestreo refleja que seis de las especies y la gramíneas introducidas fueron encontradas en la vegetación (Tabla 5).

Familia	Especie	Localizadas en las campañas
Gramíneas	<i>Lolium westerwoldicum</i>	
Fabaceae	<i>Onobrychis viciifolia</i>	SI
Gramíneas	<i>Agropyron cristatum</i>	
Gramíneas	<i>Agropyron desertorum</i>	
Gramíneas	<i>Farundinacea "Fawn" (Festuca arundinacea)</i>	
Fabaceae	<i>Melilotus officinalis</i>	SI
Gramíneas	<i>Piptatherum milliaceum</i>	
Fabaceae	<i>Retama sphaerocarpa L</i>	no
Lamiaceae	<i>Lavandula latifolia</i>	no
Lamiaceae	<i>Myosotis arvensis</i>	SI
Fabaceae	<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	SI
Fabaceae	<i>Colutea arborescens</i>	SI
Fabaceae	<i>Genista scorpius</i>	SI

**Tabla 5.** Especies introducidas en la revegetación por voleo y su localización en las campañas.

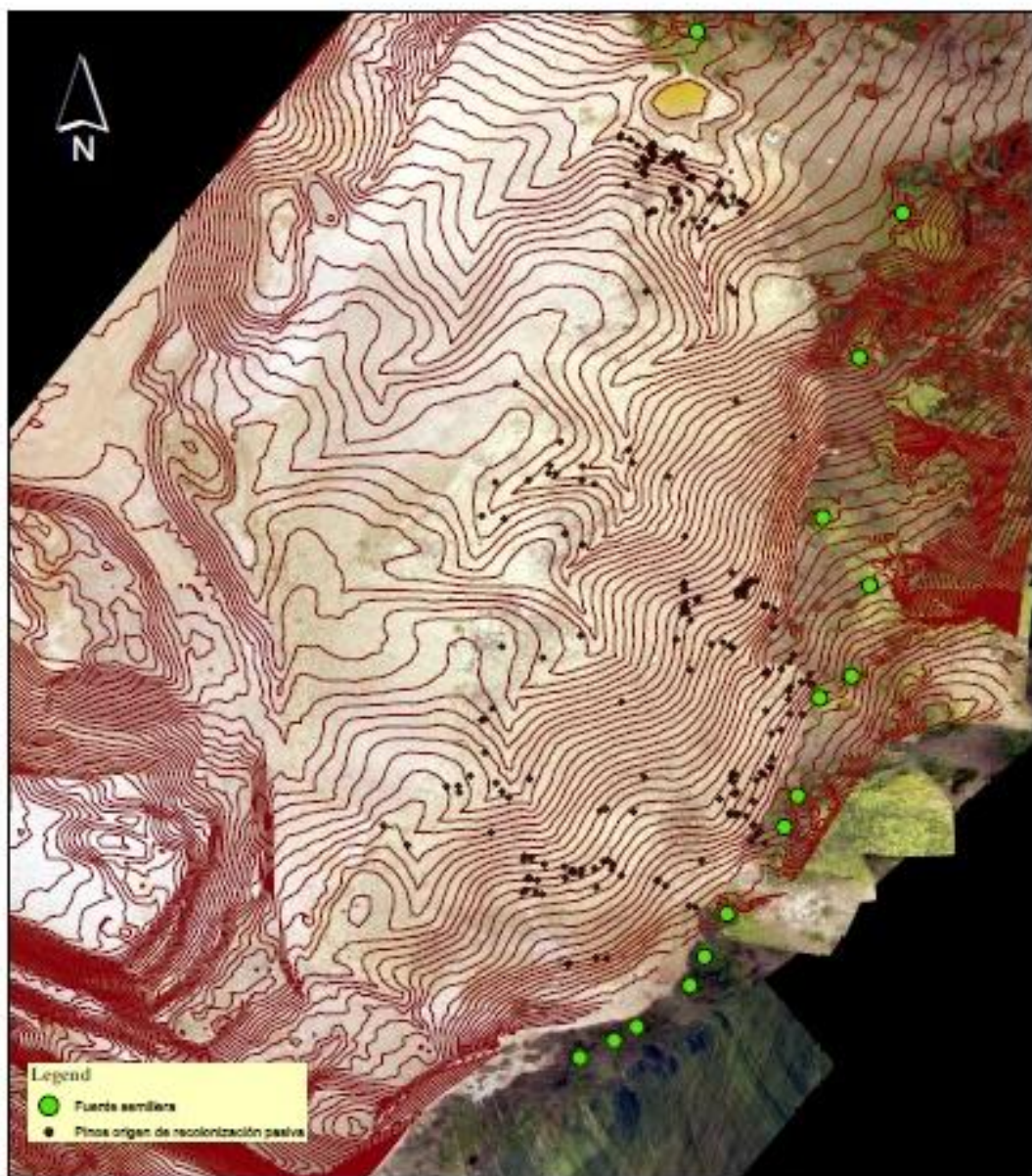
### 5.2.1. Inventario de individuos de *Genista scorpius* y *Pinus nigra*

En las Figura 13 y 14 se ofrece una representación cartografiada de los individuos de *G. scorpius* mayores de un año y *P. nigra* respectivamente. El número de individuos de cada especie son 37 y 227, respectivamente.



**Figura 13..** Ubicación de los ejemplares de *Genista scorpius* mayores de un año en la zona restaurada.





**Figura 14.** Ubicación de los ejemplares de *Pinus nigra* en la zona restaurada.

## 6. DISCUSIÓN

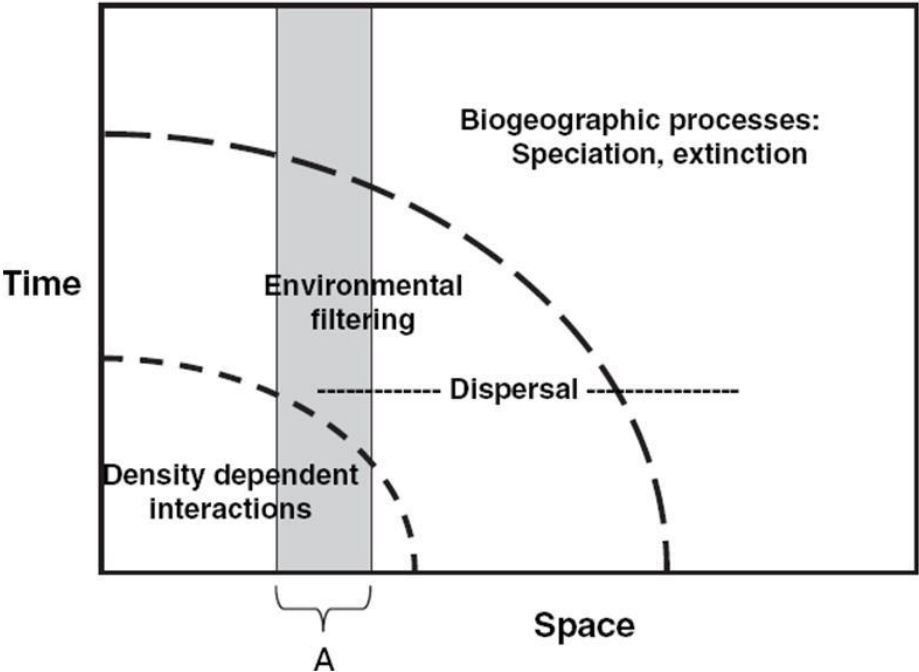
La cobertura vegetal media en la zona restaurada ha alcanzado unos valores en torno al 29 %, tras tres años y medio de evolución en las unidades ambientales más orientales y un año y medio en las más occidentales. Son valores modestos, más aún considerando que: a) se ha realizado una siembra y b) existe un área fuente de semillas colindante con la cantera. Según la visión tradicional de las restauraciones mineras un objetivo clave es conseguir un importante cubrimiento vegetal de la superficie restaurada en el menor tiempo posible a fin de controlar la erosión (Espigares *et al*, 2011b). En restauraciones de taludes mineros con 20° de pendiente en los que se desarrollan regueros –también localizados en el Sistema Ibérico (Moreno de las Heras *et al.*, 2011) encontraron que la cobertura vegetal umbral para controlar la erosión se sitúa en la horquilla del 30-50%.

En El Machorro, a pesar de que la cobertura vegetal no alcanza el 30% de media, las formas de relieve de colinas generadas mediante GeoFluv<sup>TM</sup> no son erosivas (Zapico, 2016), de manera que el objetivo de la revegetación en este caso no es el control de la erosión sino el ensamblaje de una comunidad vegetal que desemboque en una comunidad vegetal similar a la existente en el entorno, un pinar.

Por otro lado, es bien conocido en las restauraciones mineras el efecto de competencia de las siembras de herbáceas con las especies leñosas introducidas o espontáneas, bloqueando el ensamblaje de la comunidad (Balaguer *et al*, 2012a). Actualmente no se da este problema en El Machorro, donde la implantación de las especies sembradas no parece estar comprometiendo la colonización natural de pinos, 227 o de aliagas, 37 (*G. scorpius*). Sería conveniente repetir los trabajos de seguimiento de las comunidades vegetales de la zona restaurada para comprobar su evolución.

De la Figura 15 se pueden obtener los procesos que intervienen en el ensamblaje de la comunidad vegetal de El Machorro: a) dispersión o llegada de propágulos; b) filtros abióticos; y c) interacciones entre especies. En relación a la llegada de las especies, en el caso de El Machorro se ha producido la entrada espontánea de algunas de ellas y la introducción directa a través de la siembra. Entre las especies leñosas que están entrando espontáneamente desde el bosque colindante se encuentra *Pinus nigra*, la cual presenta una distribución en dos núcleos principales, probablemente procedentes de

semillas de pies distintos, al sur y al norte. La naturaleza de la propia especie explicaría su dispersión en oleadas en la zona A, más cercana al ecosistema de referencia (especie monoica que alcanzan su madurez entre los 15-40 años y pese a que producen semillas todos los años, es en ciclos de dos o cinco años cuando realmente producen semillas viables (Regato & Del Río, 2009d)). El establecimiento de una especie como *Genista scorpius* puede resultar muy interesante dado que su papel como especie nodriza ha sido descrito como relevante en el ensamblaje de comunidades en ambientes mineros de Teruel, facilitando especies como *Quercus ilex* y *Pinus nigra* (Vicente, 2016).



**Figura 15.** Esquema sobre los factores que influyen en el ensamblaje de las comunidades biológicas a diferentes escalas espaciales y temporales.

El papel del bosque como fuente de propágulos se pone también de manifiesto a través de la correlación negativa entre la riqueza y la distancia a la fuente de propágulos, de manera que a mayor distancia del bosque (zona D) la riqueza es menor.

El efecto de los filtros abióticos ha tratado de estimarse mediante las comparaciones entre las Zonas y los Sectores. La Zona D, con sustrato estéril, más pobre en nutrientes, ha mostrado los valores más bajos en cobertura vegetal y en riqueza. Es posible que las condiciones edáficas menos favorables estén limitando el establecimiento de la vegetación. En relación a los Sectores, las vaguadas principales muestran igualmente

menor abundancia y diversidad de especies que los demás ambientes ecológicos. La interpretación más probable está en el efecto erosivo de la escorrentía circulante por las vaguadas (Nicolau, *et al.* 2012b). Por el momento, no se han detectado diferencias en cobertura vegetal ni diversidad de especies entre las geoformas de divisoria y de ladera.

Respecto al tercer proceso que regula la dinámica de la comunidad vegetal –las interacciones entre especies- el diseño de muestreo no estaba dirigido a su estudio y, por otra parte, dado el estadio inicial en que se encuentra la comunidad, tampoco resulta relevante. No obstante, como se ha dicho anteriormente, la presencia de especies con potencial de facilitación, se considera positivo de cara al ensamblaje de la comunidad-diana, que no es otra que el pinar.

## 7. CONCLUSIONES

Este trabajo trata de un seguimiento y evaluación de la revegetación y colonización pasiva en la cantera de caolín restaurada por el método GeoFluv<sup>TM</sup> y el software Natural Regrade. Esta técnica geomorfológica se pretende paliar los principales factores que afectan a la recuperación de los ecosistemas en la minería: erosión y gestión hidrológica (Nicolau, 2003b). Una vez se ha actuado sobre estos puntos es necesario conseguir el conocimiento detallado sobre los factores y filtros (bióticos y abióticos) que entran en acción afectando a la dinámica del ecosistema que se espera restaurar, en este caso, pinar mixto. Por esta razón, el seguimiento y la evaluación de la vegetación se convierten en vitales para comprender la singularidad de los procesos que actúan en el ecosistema en estudio; y cuáles pueden ser actuaciones necesarias o innecesarias por nuestra parte (Balaguer *et al*, 2012b).

Conclusiones obtenidas del seguimiento y análisis realizados:

- La aparición de especies de flora no introducidas activamente en la revegetación realizada en primavera del 2015 demuestra que existe una colonización pasiva y gradual.
- La distancia a la fuente de propágulos, el ecosistema de referencia, es un factor que determina en gran medida la riqueza de especies vegetales, aumentando el número de especies en las zonas más cercanas. La presencia y dispersión de individuos *Genista scorpius* y *Pinus nigra* pone de manifiesto que no se trata de una recuperación bloqueada en las fases herbáceas puesto que están entrando especies arbustivas y arbóreas desde el ecosistema de referencia.
- Los relieves creados durante la restauración geomorfológica desarrollada mediante el método GeoFluv<sup>TM</sup> afectan a la colonización de la flora, siendo las vaguadas principales las áreas de menos cobertura y riqueza. Esto puede deberse a la erosión hídrica generada por el paso del agua por estas vaguadas.

Como en este trabajo se analizan sólo dos campañas de muestreo realizadas en estaciones distintas, sin tener datos de otros años de las mismas épocas para comparar; sería necesario repetir el seguimiento en próximos años para poder tener datos suficientes para identificar y concretar la trayectoria evolutiva del ecosistema en la zona de estudio.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento para José Francisco Martín Duque, José Manuel Nicolau Ibarra y Tiscar Espigares Pinilla; tutores y directores de este trabajo por darme la oportunidad y guiarme en su desarrollo. También me gustaría recalcar la labor de la empresa CAOBAR S.A. por apoyar financieramente el proyecto y por facilitar el acceso a la zona y la documentación necesaria.

Finalmente, un agradecimiento especial para compañeros, familia y amigos que me han apoyado y acompañado en la realización de este trabajo de una u otra forma: Ignacio Zapico; Miguel Lalaguna; Lidia Álvaro; Claudia Salido; Gonzalo Bilbao; Joaquín Campos e Inmaculada Moreno.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Abaira, V., Pérez P. & de Vargas, A (1996). “*Métodos Multivariantes en Bioestadística*”. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces.
2. Balaguer, L. (2016, Abril 19). “*Restauración ecológica: otra forma de hacer las cosas*”. Documentos Restauración Vegetal. Recuperado de:  
<https://primerencuentrogeologiacyl.wordpress.com/author/encuentro2016/>
3. Balaguer, L., Escudero, A., Martín-Duque, J. F., Mola, I., & Aronson, J. (2014). “*The historical reference in restoration ecology: re-defining a cornerstone concept*”. Biological Conservation, 176, Pág. 12-20.
4. Balaguer, L., Nicolau, J.M. & García, A. (2012a). “*Revegetación de espacio mineros desde la perspectiva de la restauración ecológica*”. Restauración geomorfológica en minería. De la teoría a la práctica. Libro de las Jornadas científico-técnicas de Restauración Ecológica de espacios degradados por la minería, MIET y CIUDEN, Ponferrada (León), incluido en el CD. Pág. 87.
5. Balaguer, L., Nicolau, J.M. & García, A. (2012b). “*Revegetación de espacio mineros desde la perspectiva de la restauración ecológica*”. Restauración geomorfológica en minería. De la teoría a la práctica. Libro de las Jornadas científico-técnicas de Restauración Ecológica de espacios degradados por la minería, MIET y CIUDEN, Ponferrada (León), incluido en el CD. Pág. 87.
6. Balaguer, L., Nicolau, J.M. & García, A. (2012c). “*Revegetación de espacio mineros desde la perspectiva de la restauración ecológica*”. Restauración geomorfológica en minería. De la teoría a la práctica. Libro de las Jornadas científico-técnicas de Restauración Ecológica de espacios degradados por la minería, MIET y CIUDEN, Ponferrada (León), incluido en el CD. Pág. 87.
7. Carcavilla, L., Ruiz, R. & Rodríguez, E. (2008). “*Guía geológica del Parque Natural del Alto Tajo*”. Junta de Comunidades de Castilla – La Mancha, Guadalajara, Pág. 267.
8. Carlson Software & Bugosh, N. (2005). “*Fluvial Geomorphic Landscape Design Computer Software*”. US Patent Office, WO/2005/036331, número internacional PCT/US2004/02995.

9. Centro de Espectrometría Aómica (CEA). (2011a). “*Instrucción técnica. Digestión Nitrógeno Kjeldahl*”. Edición02. Código IT 04345401031. Pág. 2.
10. Centro de Espectrometría Aómica (CEA). (2011b). “*Instrucción técnica. Digestión Nitrógeno Kjeldahl*”. Edición02. Código IT 04345401031. Pág. 2.
11. Centro de Espectrometría Aómica (CEA). (2011c). “*Instrucción técnica. Gestión del espectrómetro de emisión atómica con fuente (ICP)*”. Edición05. Pág. 2
12. Centro de Espectrometría Aómica (CEA). (2014a). “*Instrucción técnica. Determinación de la concentración del ión  $H^+$  mediante potenciometría*”. Edición06. Código IT 04345401020. Pág. 3-27.
13. Centro de Espectrometría Aómica (CEA). (2014b). “*Instrucción técnica. Conductividad*”. Edición08. Pág. 1-7.
14. Cohen, J.E. “*Human Population: The Next Half Century*” Science 14 Nov 2003: Vol. 302, Issue 5648, pp. 1172-1175 DOI: 10.1126/science.1088665.
15. De León A. (1991). “*Caracterización agroclimática de la provincial de Guadalajara*”. Ministerio de agricultura y alimentación.2º Edición. Pág. 127.
16. Espigares T., Moreno-de as Hera. M. & Nicolau, J.M (2011a). “*Performance of Vegetation in reclaimed Slopes Affected by Erosion*”. Restoration Ecology. Vol. 19, Nº. 1, Pág. 35-44.
17. Espigares T., Moreno-de as Hera. M. & Nicolau, J.M (2011b). “*Performance of Vegetation in reclaimed Slopes Affected by Erosion*”. Restoration Ecology. Vol. 19, Nº. 1, Pág. 35-44.
18. Espigares, T., Merino-Martín, L., Moreno-de las Heras, M. & Nicolau, J.M. (2013). “*Intensity of ecohydrological interactions in reclaimed Mediterranean slopes: effects of run-off redistribution on plant performance*”. Ecohydrology. 6, Pág. 836-844.
19. Ewing B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed A., & Wackernagel, M. (2010a). “*The Ecological Footprint Atlas 2010*”. Oakland: Global Footprint Network.

20. Ewing B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed A., & Wackernagel, M. (2010b). *"The Ecological Footprint Atlas 2010"*. Oakland: *Global Footprint Network*.
21. García A. & Cardona A.I., (2012). *"El suelo y su relevancia en la rehabilitación de espacios degradados"*. Restauración geomorfológica en minería. De la teoría a la práctica. Libro de las Jornadas científico-técnicas de Restauración Ecológica de espacios degradados por la minería, MIET y CIUDEN, Ponferrada (León), incluido en el CD. Pág. 65.
22. IBM (2016, Septiembre 28). IBM SPSS *Statistics*. Programas. Recuperado de: <http://ibm-spss-statistics.softonic.com/>
23. Lázaro, C., Martín-Duque, J.F., Nyssen, S., Nicolau, J.M., Zapico, N., Hernando, N., Sanz, M.G. & Martín, C. (2011). *"Plan de Restauración del Espacio Natural (PREM) de la Mina "El Machorro", del grupo minero María José (TM de Poveda de la Sierra, Guadalajara)"*. Documento elaborado en el marco del contrato de investigación 267/2009 entre CAOBAR S.A. y el Dpto. de Geodinámica de la UCM (con la colaboración del Departamento de Ecología de la UAH, actualmente Departamento de Ecología de la Universidad de Zaragoza).
24. Martín Duque, J.F., Martín Moreno, C., Nicolau, J.M., Sanz, M.A. & Lucía, A. (2009a). *"Impacto hidrogeomorfológico de las minas y escombreras de Peñalén (Guadalajara) sobre el Parque Natural del Alto Tajo"*. Rev. C. & G., 23 (3-4), 27-44.
25. Martín Duque, J.F., Martín Moreno, C., Nicolau, J.M., Sanz, M.A. & Lucía, A. (2009b). *"Impacto hidrogeomorfológico de las minas y escombreras de Peñalén (Guadalajara) sobre el Parque Natural del Alto Tajo"*. Rev. C. & G., 23 (3-4), 27-44.
26. Martín Duque, J.F., Martín Moreno, C., Nicolau, J.M., Sanz, M.A. & Lucía, A. (2009c). *"Impacto hidrogeomorfológico de las minas y escombreras de Peñalén (Guadalajara) sobre el Parque Natural del Alto Tajo"*. Rev. C. & G., 23 (3-4), Pág. 27-44.

27. Martín Duque, J.F. (UCM), Nicolau Ibarra J.M. (UAH), Martín Moreno C. (UCM) (2016, Septiembre 26). “*Evaluación y corrección del impacto hidrológico de la minería del caolín en el entorno del Parque Natural del Alto Tajo*”. Recuperado de: <http://www.remedinal.org>.
28. Martín Duque, J.F., Sanz, M.A, Bodoque, J.M, Lucia, A. & Martín-Moreno, C. (2010). “*Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes*”. Earth Surf. Process. Landforms 35. Pág. 531-548
29. Martín-Duque J.F & Bugosh N. (2012). “*El remodelado del terreno en la restauración ecológica del espacio afectado por actividades mineras: del uso de criterios geomorfológicos al método GeoFluv<sup>TM</sup>*”. Restauración geomorfológica en minería. De la teoría a la práctica. Libro de las Jornadas científico-técnicas de Restauración Ecológica de espacios degradados por la minería, MIET y CIUDEN, Ponferrada (León), incluido en el CD. Pág. 31.
30. Martín-Duque, J.F. & Bugosh N. (2014). “*Examples of geomorphic reclamation on mined lands in Spain. From pioneering cases to the use of the GeoFluv<sup>TM</sup> method*”. Recuperado de: <http://www.landformining.igeo.ucm-csic.es/es/content/aportaci%C3%B3n-del-grupo-rg-al-%E2%80%9C2014-osm-national-technical-forum-advances-geomorphic>.
31. Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M. & Raper, S. C. (2007). “*Global climate projections*”. Climate change, 3495, 747-845.
32. Meteorología, A. (2016, Abril 23). Valores climatológicos normales: Molina de Aragón - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Aemet.es. Recuperado de: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=3013&k=clm>
33. Moreno de las Heras, M., Espigares, T., Merino-Martín, L. & Nicolau, J.M. (2011). “*Water-related ecological impacts of rill erosion processes in Mediterranean-dry reclaimed slopes*”. CATENA. Vol. 8, Issue 3, Pág.114-124.

34. Nicolau, J.M. (2003).” *Trends in relief design and construction in opencast mining reclamation*”. Land degradation and development 14. Pág. 215-226
35. Nicolau J.M., Moreno de las Heras M., Merino L. & Espigares T. (2012a). “*Bases eco-hidrológicas para aplicar la restauración ecológica en minería*”. Restauración geomorfológica en minería. De la teoría a la práctica. Libro de las Jornadas científico-técnicas de Restauración Ecológica de espacios degradados por la minería, MIET y CIUDEN, Ponferrada (León), incluido en el CD. Pág. 47.
36. Nicolau J.M., Moreno de las Heras M., Merino L. & Espigares T. (2012b). “*Bases eco-hidrológicas para aplicar la restauración ecológica en minería*”. Restauración geomorfológica en minería. De la teoría a la práctica. Libro de las Jornadas científico-técnicas de Restauración Ecológica de espacios degradados por la minería, MIET y CIUDEN, Ponferrada (León), incluido en el CD.
37. Nicolau, J.M. (2003b). “*Diseño y construcción del relieve en la restauración de ecosistemas degradados: una perspectiva ecológica*” In: Rey Benayas, J.M., Espigares, T. & Nicolau, J.M. (Eds). Restauración de ecosistemas mediterráneos. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. Pág. 173-188.
38. Poveda de la Sierra. (2016, 23 Abril). PovedadelaSierra.com. Recuperado de: <http://povedadelaSierra.com>
39. Regato, P. & Del Río, M. (2009a). “ *9530 Pinares (sud-) mediterráneos de Pinus nigra endémicos (\*)*”.En: W.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Pág 96.
40. Regato, P. & Del Río, M. (2009b). “ *9530 Pinares (sud-) mediterráneos de Pinus nigra endémicos (\*)*”.En: W.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Pág 96.
41. Regato, P. & Del Río, M. (2009c). “ *9530 Pinares (sud-) mediterráneos de Pinus nigra endémicos (\*)*”.En: W.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

42. Regato, P. & Del Río, M. (2009d). “ 9530 Pinares (sud-) mediterráneos de *Pinus nigra* endémicos (\*)”.En: W.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
43. Serra E. & Pedra M. (2012). “Evolución histórica de los criterios de restauración aplicados en escenarios mineros”. Restauración geomorfológica en minería. De la teoría a la práctica. Libro de las Jornadas científico-técnicas de Restauración Ecológica de espacios degradados por la minería, MIET y CIUDEN, Ponferrada (León), incluido en el CD. Pág. 1.
44. Siegel S.N. & Castellan, J.J. (1988). “Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences” (2ª edición). New York: McGraw-Hill.
45. Silva, A. (1998). “La materia orgánica del suelo”. Montevideo: Facultad de Agronomía. 34p.
46. Soil Survey Staff. (2011a). “Soil Survey Laboratory Information Manual”. Soil Survey Investigations Report No. 45, Version 2.0. R. Burt (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
47. Zapico I. (2016). “Estabilidad del relieve de la zona restaurada en la mina “El Machorro” por método GeoFluv<sup>TM</sup>”. Comunicación verbal.
48. Zulueta. Semillas para revegetación (2016, 1 Mayo). Zulueta.com. Recuperado de: .
49. Vicente Bartolí, E. (2016). “Influencia de procesos ecohidrológicos en el establecimiento de especies vegetales de sucesión tardía en laderas restauradas de ambientes mediterráneos y secos”. Trabajo de Fin de Máster. Universidad de Zaragoza.



**ANEXOS**

# ANEXO 1. TEXTURAS DE SUELOS

## ANALISIS MECANICO-METODO PIPETA DE ROBINSON

TRABAJO N°:		HOJA N°:	
REFERENCIA:			
PETICIONARIO:	Sara Amaranta Campos (Biológicas)		

Muestra N°	Peso Muestra (grs.)	Arena Total Americana 2 - 0,05 mm.	Arena M. Gruesa 2 - 1. mm.	Arena Gruesa 1 - 0,5 mm.	Arena Media 0,5 - 0,2 mm.	Arena Fina 0,2 - 0,1 mm.	Arena Fina 0,1 - 0,05 mm.	Limo ISSS 0,02 - 0,002 mm.	Arcilla < 0,002 mm.	Area M. Fina 0,05 - 0,02 mm.	Limo + Ar. M. Fina (limo Americ) 0,05 -0,002 mm.	Arena Total ISSS 2 -0,02 mm.	Clasificacion Textural (USDA)
A	224,675	71,488	92,072	91,396	77,497	80,519	73,360	47,217	73,203	19,26%	35,39%	63,89%	Franco
	205,149	62,772	91,446	90,097	74,864	78,118	71,601	47,066	73,115				
	19,53	44,64%	3,21%	6,65%	13,48%	12,30%	9,01%	16,13%	19,97%				
B/C	228,704	72,292	92,102	91,539	77,989	81,520	73,043	54,785	50,196	13,14%	26,82%	64,28%	Franco Arcillo Arenoso
	208,965	62,197	91,441	90,096	74,866	78,088	71,600	54,634	50,099				
	19,74	51,14%	3,35%	7,31%	15,82%	17,39%	7,31%	13,68%	22,04%				
D	227,915	72,275	92,840	92,749	78,234	80,224	73,114	52,005	50,288	9,74%	23,15%	65,08%	Franco Arcillo Arenoso
	208,154	61,339	91,450	90,095	74,867	78,157	71,600	51,857	50,193				
	19,76	55,34%	7,03%	13,43%	17,04%	10,46%	7,66%	13,41%	21,51%				
REF	231,025	76,717	92,318	92,503	79,228	81,777	73,143	66,689	49,801	13,24%	17,20%	81,28%	Franco Arenoso
	212,061	63,814	91,437	90,087	74,867	78,066	71,600	66,608	49,735				
	18,96	68,04%	4,65%	12,74%	23,00%	19,57%	8,14%	3,95%	14,76%				

DESCRIPCION Y OBSERVACIONES:

## ANEXO 2. ANALÍTICA QUÍMICA EDÁFICA DE LAS ZONAS

	CENTROS DE ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN UCM	<b>INFORME TÉCNICO</b>	<b>Código:</b> <b>16-040-IN</b>
		<b>CAI de TÉCNICAS GEOLÓGICAS</b> UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID Facultad de Geológicas (UCM). CIUDAD UNIVERSITARIA 28040-Madrid Tfno: 91 3945223/4916 E-mail:; <a href="mailto:caitg-lmagg@geo.ucm.es">caitg-lmagg@geo.ucm.es</a> ; <a href="mailto:caitg-laga@geo.ucm.es">caitg-laga@geo.ucm.es</a>	Página 1 de 3

### INFORME TÉCNICO 16-040-IN

#### IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE / PROYECTO

RESPONSABLE	José Francisco Martín Duque		
INSTITUCIÓN	UCM		
TIPO DE CLIENTE	PARTICULAR <input type="checkbox"/> / Empresa <input type="checkbox"/> / OPI <input type="checkbox"/> / UCM <input checked="" type="checkbox"/>		
NIF/CIF	Q2818014I		
DIRECCIÓN	C/ José Antonio Novais 2 CP: 28040 / POBLACIÓN: Madrid		
CENTRO	Facultad de C.C. Geológicas		
ÁREA/DEPARTAMENTO	Geodinámica		
PROYECTO <input checked="" type="checkbox"/> CONVENIO <input type="checkbox"/>	TÍTULO:	SOLUCIONES PARA EL DESARROLLO DE UNA MINERÍA SOSTENIBLE EN EL ENTORNO NATURAL DEL ALTO TAJO	
	CÓDIGO:	249-2015-UCM Y CAOBAR	
	RESPONSABLE:	JOSÉ FRANCISCO MARTÍN DUQUE	

PERSONA DE CONTACTO	Sara Camps Moreno		
TELÉFONO/FAX	616914302	E-MAIL	saraamaranta@gmail.com

Los trabajos aquí descritos han sido realizados en un Centro en el que está implantando un Sistema de Gestión de la Calidad conforme a la Norma UNE-EN ISO 9001:2008 (SGS nº de Certificado ES 11/11013.3)



Los resultados aquí expuestos se refieren únicamente a la/s muestra/s analizadas. Este Informe no podrá reproducirse parcialmente sin previa autorización del CAI de Técnicas Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Para utilizar los resultados de este informe, tanto en trabajos de investigación y publicaciones, como en informes, deberá solicitarse la autorización por escrito al CAI de Técnicas Geológicas de la UCM, y hacerse constar el nombre del Centro como lugar donde ha sido realizados los análisis.

	CENTROS DE ASISTENCIA A LA INVESTIGACIÓN UCM	<b>INFORME TÉCNICO</b>	<b>Código:</b> <b>16-040-IN</b>
		<b>CAI de TÉCNICAS GEOLÓGICAS</b> UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID Facultad de Geológicas (UCM). CIUDAD UNIVERSITARIA 28040-Madrid Tfno: 91 3945223/4916 E-mail:; <a href="mailto:caitg-lmqq@geo.ucm.es">caitg-lmqq@geo.ucm.es</a> ; <a href="mailto:caitg-laga@geo.ucm.es">caitg-laga@geo.ucm.es</a>	Página 2 de 3

## 1 INTRODUCCIÓN

Se ha recibido en el Centro, el dieciséis de febrero de 2016, 4 muestras de suelo, para análisis de Carbono Orgánico Total (TOC), Nitrógeno Kjeldahl, fósforo, pH y conductividad. Todas las muestras analizadas han sido recogidas por el cliente, y entregadas en el Centro para su análisis. En el apartado 2 se detallan las muestras analizadas, así como los métodos de análisis utilizados.

En el apartado 3 se recogen los resultados obtenidos en los análisis realizados.

## 2 MUESTRAS ANALIZADAS

<b>MUESTRA</b>	<b>MUESTRA (CÓD. CENTRO)</b>	<b>FECHA INICIO ANÁLISIS</b>	<b>FECHA FINAL ANÁLISIS</b>	<b>MÉTODO DE ANÁLISIS</b>	<b>IT<sup>1</sup></b>
REF-1	14040-01	24/02/2016	26/02/2016	Combustión y Detección IR	04345J0 1301
REF-1	14040-01	22/02/2016	22/02/2016	Método Kjeldahl	04345J0 1031
REF-1	14040-01	18/02/2016	1/03/2016	Espectrometría ICP-OES	04345J0 3701
REF-1	14040-01	18/02/2016	19/02/2016	Potenciometría	04345J0 1033
REF-1	14040-01	18/02/2016	18/02/2016	Conductimetría	04345J0 1037
FM-1	14040-02	24/02/2016	26/02/2016	Combustión y Detección IR	04345J0 1301
FM-1	14040-02	22/02/2016	22/02/2016	Método Kjeldahl	04345J0 1031
FM-1	14040-02	18/02/2016	1/03/2016	Espectrometría ICP-OES	04345J0 3701
FM-1	14040-02	18/02/2016	19/02/2016	Potenciometría	04345J0 1033
FM-1	14040-02	18/02/2016	18/02/2016	Conductimetría	04345J0 1037
FMS-1	14040-03	24/02/2016	26/02/2016	Combustión y Detección IR	04345J0 1301
FMS-1	14040-03	22/02/2016	22/02/2016	Método Kjeldahl	04345J0 1031
FMS-1	14040-03	18/02/2016	1/03/2016	Espectrometría ICP-OES	04345J0 3701
FMS-1	14040-03	18/02/2016	19/02/2016	Potenciometría	04345J0 1033
FMS-1	14040-03	18/02/2016	18/02/2016	Conductimetría	04345J0 1037
ASM-1	14040-04	24/02/2016	26/02/2016	Combustión y Detección IR	04345J0 1301
ASM-1	14040-04	22/02/2016	22/02/2016	Método Kjeldahl	04345J0 1031
ASM-1	14040-04	18/02/2016	1/03/2016	Espectrometría ICP-OES	04345J0 3701
ASM-1	14040-04	18/02/2016	19/02/2016	Potenciometría	04345J0 1033
ASM-1	14040-04	18/02/2016	18/02/2016	Conductimetría	04345J0 1037

**Tabla 1.** Identificación de las muestras sometidas a análisis. Se indica la fecha de realización de los análisis, así como el método utilizado (incluyendo la referencia de la IT utilizada).

<sup>1</sup> Se indican los métodos utilizados por el Centro, según Instrucciones Técnicas propias.

### 3 RESULTADOS ANALÍTICOS

Se ha realizado el análisis de TOC mediante Combustión y Detección por IR, Nitrógeno Kjeldahl mediante el Método Kjeldahl, fósforo mediante Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), pH mediante Potenciometría y conductividad mediante Conductimetría. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>REF</b>	<b>A</b>	<b>B+C</b>	<b>D</b>
TC (%)		3,4 ± 0,3	5,7 ± 0,6	3,1 ± 0,3	2,5 ± 0,3
TOC (%)		<3,4	2,2 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1
IC (%)		<0,3	3,5 ± 0,4	2,2 ± 0,2	1,8 ± 0,2
Nitrógeno Kjeldahl (%)		0.42 ± 0.04	0.22 ± 0.02	0.080 ± 0.008	0.060 ± 0.006
P (%)		0.026 ± 0.002	0.053 ± 0.002	0.031 ± 0.002	0.025 ± 0.002
pH (unidades de pH)		6,66 ± 0,04	8,20 ± 0,04	8,51 ± 0,04	8,45 ± 0,04
Conductividad (μS/cm)		53 ± 4	183 ± 14	103 ± 8	100 ± 7

**Tabla 2.** Resultados analíticos.

Madrid, jueves, 03 de marzo de 2016

Fdo.: Sol López Andrés  
Directora del CAI de Técnicas Geológicas

### ANEXO 3

#### ESPECIES VEGETALES IDENTIFICADAS EN "EL MACHORRO"

Nº	Familia	Género	Especie
1	<i>Leguminosae</i>	<i>Melilotus</i>	<i>Melilotus officinalis</i>
2	<i>Pinaceae</i>	<i>Pinus</i>	<i>Pinus nigra</i>
3	<i>Compositae</i>	<i>Cirsium</i>	<i>Cirsium arvensis</i>
4	<i>Solanaceae</i>	<i>Atropa</i>	<i>Atropa belladonna</i>
5	<i>Malvaceae</i>	<i>Malva</i>	<i>Malva sylvestris</i>
6	<i>Scrophulariaceae</i>	<i>Verbascum</i>	<i>Verbascum sp.</i>
7	<i>Compositae</i>	<i>Onopordum</i>	<i>Onopordum acanthium</i>
8	<i>Rosaceae</i>	<i>Rubus</i>	<i>Rubus sp</i>
9	<i>Gramineas</i>		
10	<i>Boraginaceae</i>	<i>Myosotis</i>	<i>Myosotis arvensis</i>
11	<i>Rosaceae</i>	<i>Crataegus</i>	<i>Crataegus monosperma</i>
12	<i>Leguminosae</i>	<i>Trifolium</i>	<i>Trifolium repens</i>
13	<i>Leguminosae</i>	<i>Medicago</i>	
14	<i>Leguminosae</i>	<i>Astragalus</i>	<i>Astragalus incanus</i>
15	<i>Geraniaceae</i>		
16	<i>Cupressaceae</i>	<i>Juniperus</i>	<i>Juniperus sp.</i>
17	<i>Leguminosae</i>	<i>Medicago</i>	<i>Medicago sp.</i>
18	<i>Compositae</i>	<i>Carduus</i>	<i>Carduus arvensis</i>
19	<i>Leguminosae</i>	<i>Vicia</i>	<i>Vicia sativa</i>
20	<i>Leguminosae</i>	<i>Genista</i>	<i>Genista scorpius</i>

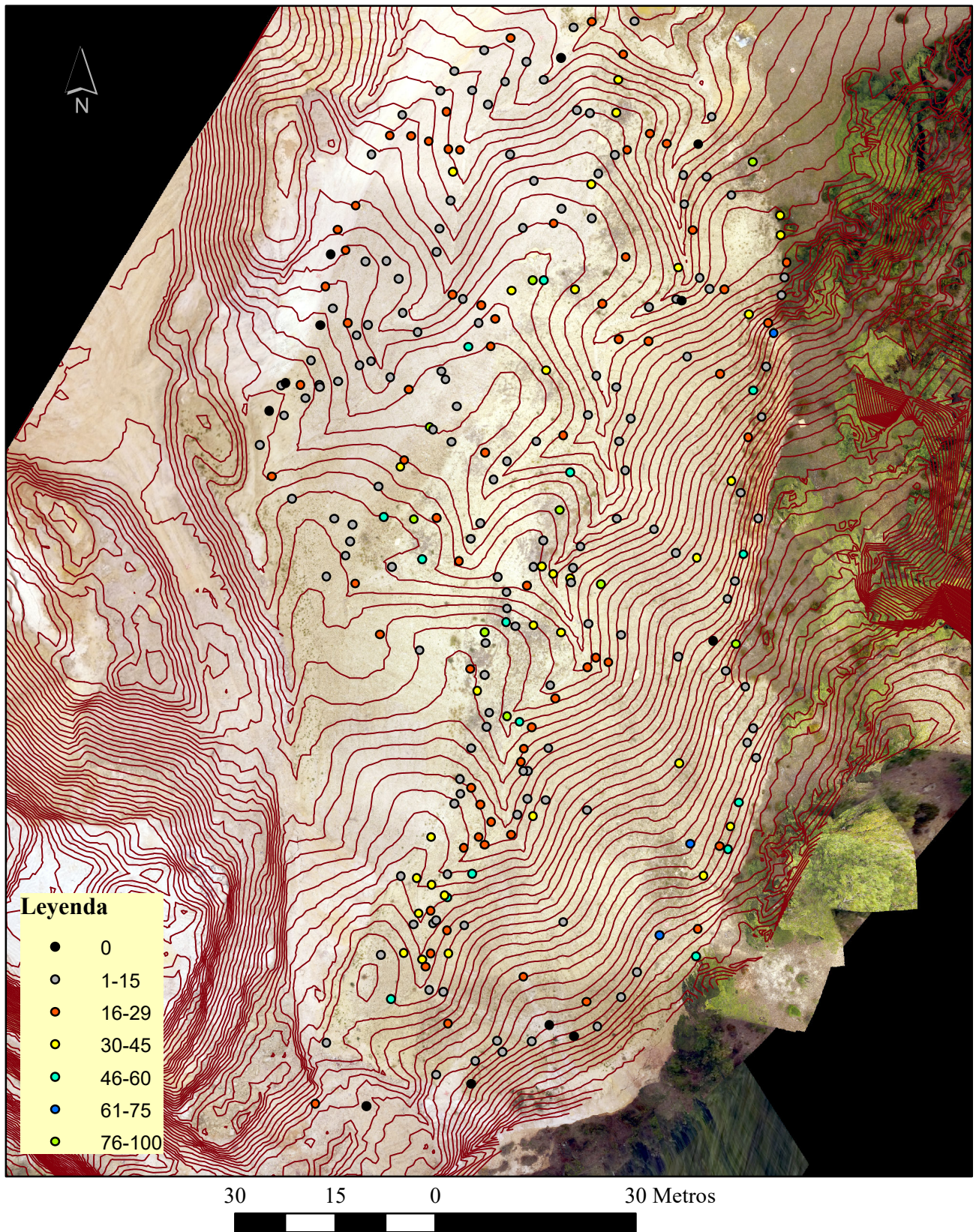


Nº	Familia	Género	Especie
21	<i>Compositae</i>	<i>Hieracium</i>	<i>Hieracium pilosella</i>
22	<i>Leguminosae</i>	<i>Colutea</i>	<i>Colutea arborescens</i>
23	<i>Euphobiaceae</i>	<i>Euphorbia</i>	<i>Euphorbia portlandica</i>
24	<i>Compuesta</i>	<i>Taraxacum</i>	<i>Taraxacum sp.</i>
25	<i>Cruciferae</i>	<i>Moricandia</i>	<i>Moricandia arvensis</i>
26	<i>Buxaceae</i>	<i>Buxus</i>	<i>Buxus sempervires</i>
27	<i>Leguminosae</i>	<i>Onobrychis</i>	<i>Onobrychis viciifolia</i>
29	<i>Malvaceae</i>	<i>Malva</i>	<i>Malva sp.</i>
30	<i>Leguminosae</i>	<i>Dorycnium</i>	<i>Dorycnium pentaphyllum</i>
31	<i>Compositae</i>	<i>Helichrisum</i>	<i>Helichrisum sp.</i>
32	<i>Compositae</i>	<i>Chamaemelum</i>	<i>Chamaemelum sp.</i>
33	<i>Compositae</i>	<i>Taraxacum</i>	<i>Taraxacum officinale</i>

**Tabla 1.** Especies vegetales de ambas campañas, de "El Machorro", identificadas por Gonzalo Bilbao, botánico de la UCM, doctorando en Montreal (Canadá).



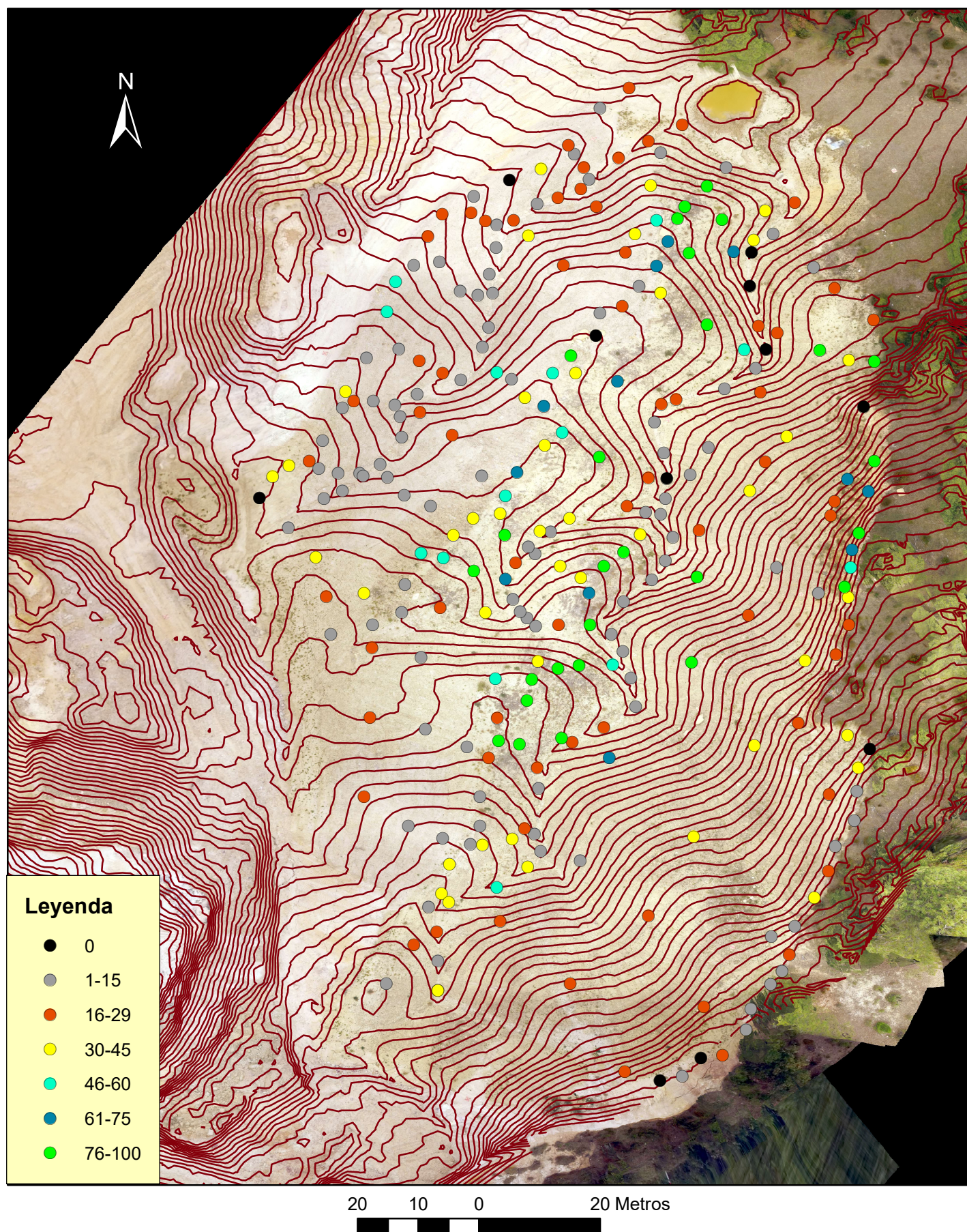
# ANEXO 4. Mapa 1. % Cobertura vegetal por quadrats. Campaña Otoño 2015



<b>TITULO</b> Proyecto Restauración mina Caolín "Machorro" Empresa Caobar S.A		
<b>Escala</b> 1:850	<b>Fecha</b> Octubre 2015	<b>Localidad</b> Poveda de la Sierra - Guadalajara
<b>Plano</b> Cobertura Vegetal %		<b>Sist. Coordenadas</b> ETRS89_UTM_Zone_30N
<b>Autora</b> Sara-Amaranta Campos Moreno		







<b>TITULO</b> Proyecto de Restauración de mina Caolín "Machorro" Empresa Caobar S.A		
<b>Escala :</b> 1 : 850	<b>Fecha:</b> Junio 2016	<b>Localidad :</b> Poveda de la Sierra - Guadalajara
<b>Plano :</b> Cobertura Vegetal %		<b>Sist. de Coordenadas:</b> ETRS89_UTM_Zone_30N
<b>Autora :</b> Sara-Amaranta Campos Moreno		





## **DOCUMENTACIÓN ADMINISTRATIVA**

### **ÍNDICE:**

1. Certificado Tutor Académico
2. Certificado Tutor Director
3. Certificado Tutor Director
4. Autorización

Dr. José Francisco, Martín Duque.

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: "EVALUACIÓN DE LA REVEGETACIÓN Y COLONIZACIÓN NATURAL EN LA MINA DE CAOLÍN MACHORRO (ALTO TAJO) CON RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA GEOFLUV", ha sido realizado bajo mi tutorización académica por la alumna D<sup>a</sup> Sara Amaranta, Campos Moreno

En Madrid, a 30 de septiembre de 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José F. Martín Duque', with a large, stylized flourish extending from the end of the signature.

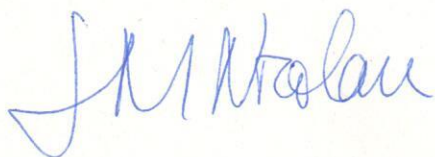
Firmado: José Francisco Martín Duque

Dr. José Manuel, Nicolau Ibarra

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: "EVALUACIÓN DE LA REVEGETACIÓN Y COLONIZACIÓN NATURAL EN LA MINA DE CAOLÍN MACHORRO (ALTO TAJO) CON RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA GEOFLUV" ha sido realizado bajo mi dirección por la alumna D<sup>a</sup> Sara Amaranta Campos Moreno

En Huesca , a 29 de septiembre de 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J M Nicolau', written in a cursive style.

Firmado: J M NICOLAU

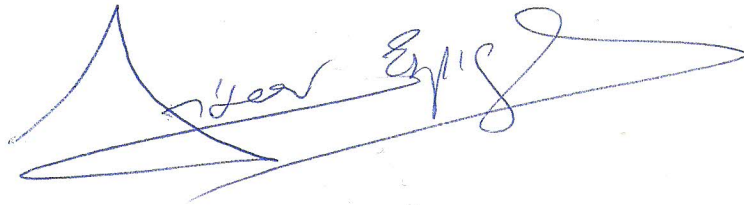


Dra. Tíscar, Espigares Pinilla

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: "EVALUACIÓN DE LA REVEGETACIÓN Y COLONIZACIÓN NATURAL EN LA MINA DE CAOLÍN MACHORRO (ALTO TAJO) CON RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA GEOFLUV", ha sido realizado bajo mi dirección por el alumno/a D<sup>a</sup> Sara Amaranta, Campos Moreno

En Alcalá de Henares, a 29 de septiembre de 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Tíscar Espigares Pinilla', is written over a horizontal line. The signature is stylized with loops and a long horizontal stroke at the end.

Firmado: Tíscar Espigares Pinilla

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA INCLUSIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER EN  
LOS ARCHIVO ABIERTOS INSTITUCIONALES DE LAS UNIVERSIDADES QUE IMPARTEN LA TITULACIÓN**

**TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER:**

**EVALUACIÓN DE LA REVEGETACIÓN Y COLONIZACIÓN NATURAL EN LA MINA DE CAOLÍN MACHORRO (ALTO TAJO) CON RESTAURACIÓN GEOMORFOLÓGICA GEOFLUV.**

**1.- ESTUDIANTE (AUTOR)**

<b>APELLIDOS Y NOMBRE:</b> Campos Moreno, Sara Amaranta	<b>DNI:</b> 05326471-Q
<b>TITULACIÓN:</b> Licenciatura en Biología. <b>Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas.</b>	

**2.- TUTOR DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER**

<b>APELLIDOS Y NOMBRE:</b> Martín Duque, José Francisco	<b>DNI:</b> 03449400K
<b>DEPARTAMENTO O INSTITUCIÓN:</b> Universidad Complutense de Madrid.	

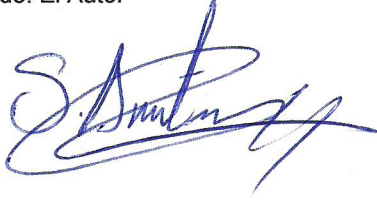

**Los abajo firmantes:**

☒ **AUTORIZAN**

☐ **NO AUTORIZAN**

El depósito y puesta a disposición del Trabajo Fin de Máster en los Repositorios Institucionales de las Universidades que imparten la titulación, de acceso libre y gratuito a través de Internet, y otorgando las condiciones de uso de la licencia Creative Commons *reconocimiento-uso no comercial-sin obra derivada*.

Más información en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es>

<b>Firmado: El Autor</b> 	<b>Firmado: El Tutor del Trabajo Fin de Máster</b> 
---	--